

**ÜBERSON BOARETTO ROSSA**

**ESTIMATIVA DE CALAGEM PELO MÉTODO SMP PARA ALGUNS  
SOLOS DO PARANÁ**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Agronomia Área de Concentração Ciência do Solo pelo Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo T. da Silva

Co-orientadores: Prof. Dr. Luiz A. C. Lucchesi

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nerilde Favaretto

**CURITIBA  
2006**

## DEDICATÓRIA

Àquela que, quando criança nas atividades de nossa “pequena horta”, despertou em mim preceitos de trabalho, responsabilidade, interesse pela agricultura e meio ambiente.

Minha mãe.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus pelo dom da vida, e pela perseverança que me fez alcançar este objetivo;

Às pessoas que deram o sangue para a construção de uma sociedade mais justa e fraterna;

Ao Professor Dr. Eduardo Teixeira pelo companheirismo, amizade, e sobremaneira pela preciosa orientação;

Ao meu co-orientador Professor Dr. Luiz Antônio Corrêa Lucchesi pelos ensinamentos e confiança em mim depositado;

À minha co-orientadora Professora Dr<sup>a</sup>. Nerilde Favaretto pelo apoio e dedicação;

Ao curso de Pós Graduação em Agronomia, área de concentração Ciência do Solo, da Universidade Federal do Paraná pela oportunidade e contribuição à formação científica e pessoal.

Aos laboratoristas Ana, Reginaldo, Elda, Nara, entre outros professores, alunos e funcionários da UFPR que, de uma ou de outra forma, contribuíram para a realização deste trabalho, para a concretização do curso e para o nosso aprendizado de vida, o qual serei eternamente grato;

Aos meus colegas do Programa de Pós Graduação em Agronomia área de concentração Produção Vegetal, da UFPR, em especial a Edison Schmidt Filho e Jetro T. Salvador, pela cooperação, e valorosa amizade;

Ao Instituto Ambiental do Paraná – IAP, na pessoa de José Augusto de F. Picheth, Sonia Mara M. de Souza e Maria do Rocio Lacerda Rocha. A Loris Carlos Guesse, Luiz Eduardo Veiga Lopes, Jorge Luiz Correa, Claudete da Silva Souza e Júlio Cezar Fagundes dos Santos da Companhia da Habitação do Paraná - COHAPAR, pessoas de instituições que me apoiaram durante o curso;

Aos meus pais Antivir Rossa e Iracema Boaretto Rossa pelos mais importantes ensinamentos de minha vida;

Ao tio Clemente Boaretto pelo exemplo, apoio e incentivo em toda minha caminhada;

Ao Pe. Ladir Casagrande, pelas orações e força espiritual. Grande gaúcho de Passo Fundo que sempre me acolheu, de cuia na mão e porteira aberta, nos rincões de seu grandioso coração;

A todos que passaram em minha vida agradeço...

*“Hoje, tantos anos depois... de tudo ficaram três coisas: a certeza de que estava sempre começando, a certeza de que era preciso continuar e a certeza de que seria interrompido antes de terminar. Fazer da interrupção um caminho novo, fazer da queda, um passo de dança, do medo, uma escada, do sonho, uma ponte, da procura, um encontro.”*

Fernando Pessoa

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	i
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	ii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	vii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE EQUAÇÕES</b> .....	ix
<b>RESUMO</b> .....	xi
<b>ABSTRACT</b> .....	xii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	4
2.1 OBJETIVO GERAL .....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
<b>3 HIPÓTESES</b> .....	6
<b>4 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	7
4.1 A NATUREZA DA ACIDEZ DOS SOLOS .....	7
4.2 PROPRIEDADES DOS SOLOS E A NECESSIDADE DE CALCÁRIO PARA CORREÇÃO DE SUA ACIDEZ EXCESSIVA .....	11
4.3 A CALAGEM .....	13
4.3.1 Efeitos de aplicação de corretivos no solo .....	17
4.4 OS CORRETIVOS .....	18
4.4.1 A natureza química dos corretivos .....	18
4.4.2 O calcário, sua aplicação e características .....	19
4.4.3 Os óxidos, sua aplicação e características .....	20
4.4.4 Os hidróxidos, sua aplicação e características .....	21
4.4.5 As escórias de siderurgia, aplicação e características .....	22
4.4.6 O N-Viro Soil, sua aplicação e características .....	22
4.5 MÉTODOS PARA DETERMINAR A DOSE DE CORRETIVOS .....	25
4.5.1 Os primeiros métodos e a interpretação dos valores analíticos .....	27
4.5.2 Métodos que utilizam soluções tamponadas .....	31
4.5.3 Método do alumínio trocável .....	34
4.5.4 Método de saturação de bases do solo .....	35

4.5.5 Incubação .....	37
4.5.6 Métodos usados atualmente .....	38
4.5.7 Determinação da acidez potencial pelo método do pH SMP .....	40
4.5.8 Método de determinação da acidez ativa (pH CaCl <sub>2</sub> 0,01mol/L – 1:2,5) .....	52
4.6 A CALAGEM NO PARANÁ .....	52
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	55
5.1 ESCOLHA DAS REGIÕES PARA AMOSTRAGEM DOS SOLOS .....	55
5.2 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DAS REGIÕES ESTUDADAS .....	57
5.2.1 Arapoti .....	60
5.2.2 Ponta Grossa .....	61
5.2.3 Palmeira .....	63
5.2.4 Contenda .....	64
5.2.5 Cascavel .....	64
5.3 SOLOS ESTUDADOS .....	66
5.4 COLETA DOS SOLOS PARA INCUBAÇÃO E PREPARO .....	67
5.5 PREPARO DAS AMOSTRAS E UNIDADES EXPERIMENTAIS .....	69
5.6 TRATAMENTOS UTILIZADOS E INCUBAÇÃO DO SOLO .....	70
5.7 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS DE ACIDEZ ATIVA E POTENCIAL DO SOLO	72
5.7.1 Determinação da acidez ativa pelo método de CaCl <sub>2</sub> 0,01 mol/L .....	73
5.7.2 Procedimento para determinação de pH pelo método da solução tampão SMP	74
5.7.3 Determinação do pH SMP .....	74
5.7.3.1 Reagentes e soluções .....	76
5.7.3.2 Cálculo .....	76
5.7.4 pH EM ÁGUA .....	76
5.8 MÉTODOS DE RECOMENDAÇÃO DA NECESSIDADE DE CALCÁRIO	
TESTADOS .....	77
5.9 ESTIMATIVA DE CALAGEM PELO MÉTODO SMP .....	78
5.9.1 Estimativa de calagem pelo método SMP para os solos estudados .....	78
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	81
6.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS SOLOS ESTUDADOS .....	81
6.1.1 Análise Granulométrica dos solos estudados .....	83
6.1.2 Incubação dos solos com carbonato de cálcio .....	83

6.1.3 Curvas de Neutralização dos Solos Incubados .....	84
6.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	87
6.2.1 Determinação pelo Método pH $\text{CaCl}_2$ .....	87
6.2.2 Determinação pelo Método pH $\text{H}_2\text{O}$ .....	88
6.2.3 Determinação pelo Método pH SMP .....	88
6.3 ESTIMATIVA DE CALAGEM PELO MÉTODO SMP PARA OS SOLOS ESTUDADOS .....	90
<b>7 CONCLUSÕES</b> .....	93
<b>8 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	94
<b>REFERÊNCIAS CONSULTADAS</b> .....	95
<b>ANEXOS</b> .....	112

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	- EFEITO DA CALAGEM NO RENDIMENTO DA SOJA .....	15
TABELA 2	- RECOMENDAÇÕES DE CALAGEM (CALCÁRIO COM PRNT 100%) COM BASE NO ÍNDICE SMP, PARA A CORREÇÃO DA ACIDEZ DOS SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA .....	42
TABELA 3	- MÉTODOS USADOS ATUALMENTE PARA DETERMINAR A NECESSIDADE DE CALAGEM EM ALGUNS ESTADOS E REGIÕES DO BRASIL .....	47
TABELA 4	- EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA SOLOS DE DIVERSOS ESTADOS VISANDO ESTIMAR O TEOR DE H <sup>+</sup> + Al EM FUNÇÃO DO pH SMP .....	49
TABELA 5	- LIMITES DE SATURAÇÃO POR BASES (V <sub>2</sub> ) ADEQUADOS PARA DIFERENTES CULTURAS NAS CONDIÇÕES DO ESTADO DE SÃO PAULO .....	51
TABELA 6	DEMONSTRATIVO DE ÉPOCA DE INCUBAÇÃO COM DATAS .....	71
TABELA 7	- DOSES DE CaCO <sub>3</sub> APLICADAS COM BASE NOS MÉTODOS ALUMÍNIO TROCÁVEL, SATURAÇÃO DE BASES (V%) E ÍNDICE SMP UTILIZADO COMO REFERÊNCIA PARA O ESTABELECIMENTO DOS TRATAMENTOS .....	78
TABELA 8	- DOSAGENS AJUSTADAS EQUIDISTANTES, CALCULADAS SEGUNDO ACIDEZ ATIVA (pH EM H <sub>2</sub> O) EM Kg/ha .....	78
TABELA 9	- COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (r <sup>2</sup> ), E EQUAÇÃO DE REGRESSÃO DE CADA MÉTODO OBTIDA POR INCUBAÇÃO, PARA ELEVAR O pH DOS CINCO SOLOS A VALORES PRÉ-ESTABELECIDOS .....	80
TABELA 10	- PROPRIEDADES QUÍMICAS DOS CINCO SOLOS NA ÉPOCA 0 ...	82
TABELA 11	- UNIDADES DE SOLO ESTUDADOS .....	85
TABELA 12	- GRANULOMETRIA DOS SOLOS ESTUDADOS .....	84
TABELA 13	- DOSES DE CaCO <sub>3</sub> NECESSÁRIAS PARA ELEVAR O pH DE CINCO SOLOS DO PR A 5,5, 6,0 E 6,5, ESTIMADAS PELAS CURVAS DE NEUTRALIZAÇÃO .....	86
TABELA 14	- RECOMENDAÇÃO PELO SMP PARA SE ATINGIR O pH EM ÁGUA DE 5,5 (a), 6,0 (b) E 6,5 (c) .....	90



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01	- LOCALIZAÇÃO DOS SOLOS ESTUDADOS EM RELAÇÃO A CONCENTRAÇÃO DO VALOR DA PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA PARANAENSE SAFRA 2002/03 .....	56
FIGURA 02	- NÚCLEOS REGIONAIS DA SEAB QUE ESTÃO LOCALIZADOS OS MUNICÍPIOS ESTUDADOS .....	56
FIGURA 03	MAPA DOS CLIMAS DO PARANÁ E LOCALIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS ESTUDADOS .....	57
FIGURA 04	- MAPA DA LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ESTADO DO PARANÁ .....	59
FIGURA 05	- MAPA GEOMORFOLÓGICO DO PARANÁ E LOCALIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS ESTUDADOS .....	60
FIGURA 06	- MAPA DA LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE ARAPOTI .....	61
FIGURA 07	- MAPA DA LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE PONTA GROSSA ....	62
FIGURA 08	- MAPA DA LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE PALMEIRA .....	63
FIGURA 09	- MAPA DA LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE CONTENDA .....	65
FIGURA 10	- MAPA DA LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE CASCAVEL .....	66
FIGURA 11	- MODELO DE IDENTIFICAÇÃO DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS	69
FIGURA 12	- UNIDADES EXPERIMENTAIS DEPOSITADAS EM BANCADA, DESTACANDO IDENTIFICAÇÃO .....	70
FIGURA 13	- CURVAS DE NEUTRALIZAÇÃO DO SOLO DE ARAPOTI DE TODOS OS TRATAMENTOS EM TODAS AS ÉPOCAS PARA MÉTODO DO pH SMP (a), pH CaCl <sub>2</sub> (b) e pH H <sub>2</sub> O (c) .....	85
FIGURA 14	- CURVAS DE NEUTRALIZAÇÃO, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CARBONATO DE CÁLCIO APLICADAS PARA SE ATINGIR O pH EM ÁGUA DE 5,5 (a), 6,0 (b) E 6,5 (c) .....	91

## LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 01	- EQUAÇÃO LOGARITMA DA ACIDEZ .....	07
EQUAÇÃO 02	- EQUAÇÕES DAS REAÇÕES COM ALUMÍNIOHEXAHIDRONEO	09
EQUAÇÃO 03	- EQUAÇÃO DA REAÇÃO COM ALUMÍNIO ACÍDICO DO SOLO....	09
EQUAÇÃO 04	- EQUAÇÕES DAS REAÇÕES QUÍMICAS NEUTRALIZANTES DO CALCÁRIO .....	19
EQUAÇÃO 05	- EQUAÇÃO DA REAÇÃO QUÍMICA DA CALCINAÇÃO DO CALCÁRIO (Calcita e Dolomita) .....	21
EQUAÇÃO 06	- EQUAÇÃO DE REAÇÃO DA AÇÃO NEUTRALIZANTE DOS ÓXIDOS .....	21
EQUAÇÃO 07	- EQUAÇÃO DA FORMAÇÃO DA CAL HIDRATADA .....	22
EQUAÇÃO 08	- EQUAÇÕES DA AÇÃO NEUTRALIZANTE DAS ESCÓRIAS DE SIDERURGIA .....	22
EQUAÇÃO 09	- EQUAÇÃO DA REAÇÃO QUÍMICA DO PROCESSO DE ESTABILIZAÇÃO ALCALINA COM SECAGEM ACELERADA .....	23
EQUAÇÃO 10	- EQUAÇÃO DA REAÇÃO QUÍMICA DE CARBONATAÇÃO .....	25
EQUAÇÃO 11	- EQUAÇÃO DA DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE TAMPÃO DOS SOLOS .....	34
EQUAÇÃO 12	- EQUAÇÃO DA NECESSIDADE DE CALCÁRIO PELO MÉTODO DA SOLUÇÃO TAMPÃO .....	34
EQUAÇÃO 13	- EQUAÇÃO DA QUANTIDADE DE CALCÁRIO PELO MÉTODO DE SATURAÇÃO DE BASE .....	36
EQUAÇÃO 14	- EQUAÇÃO DA NECESSIDADE DE CALCÁRIO COM INCLUSÃO DO TEOR DE ALUMÍNIO .....	36
EQUAÇÃO 15	- EQUAÇÕES PARA CALCULO DE NECESSIDADE DE CALAGEM EM FUNÇÃO DO TEOR DE ALUMÍNIO E MATERIA ORGANICA PARA pH 5,5 .....	39
EQUAÇÃO 16	- EQUAÇÕES PARA CALCULO DE NECESSIDADE DE CALAGEM EM FUNÇÃO DO TEOR DE ALUMÍNIO E MATERIA ORGANICA PARA pH 6,0 .....	39
EQUAÇÃO 17	- EQUAÇÕES PARA CALCULO DE NECESSIDADE DE CALAGEM EM FUNÇÃO DO TEOR DE ALUMÍNIO E MATERIA ORGANICA PARA pH 6,5 .....	39
EQUAÇÃO 18	- EQUAÇÃO DE CALCULO INCLUINDO O TEOR DE ALUMÍNIO ..	44
EQUAÇÃO 19	- EQUAÇÃO DA NECESSIDADE DE CALCÁRIO EM REGIÕES ONDE SÃO USADAS OS TEORES DE Al, Ca E Mg TROCÁVEIS E O TEOR DE ARGILA .....	45
EQUAÇÃO 20	- EQUAÇÃO DA NECESSIDADE DE CALCÁRIO RECOMENDADA PARA O ESTADO DE MINAS GERAIS .....	46
EQUAÇÃO 21	- EQUAÇÕES DA NECESSIDADE DE CALCÁRIO PARA SOLOS COM TEOR DE ARGILA MENOR QUE 20 % .....	47
EQUAÇÃO 22	- EQUAÇÃO DA NECESSIDADE DE CALAGEM BASEADO NA SATURAÇÃO POR BASES .....	48

EQUAÇÃO 23 - EQUAÇÕES DO CÁLCULO DA NECESSIDADE DE CALAGEM DE REGIÕES ONDE SE USA AI OU Ca + Mg .....	50
--	----

## RESUMO

A utilização do método do pH SMP para a recomendação de quantitativos de corretivos da acidez do solo tem sido amplamente utilizado no Estado do Paraná, e apresenta vantagens sobre outros métodos de estimativa da acidez potencial, como o método do acetato de cálcio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , pH 7, mas requer regionalização edafológica prévia para estimar, com segurança, os valores de corretivos a aplicar. Nos solos do Paraná foi produzida a maior safra de grãos entre os estados brasileiros, de um modo geral esses solos são ácidos e requerem prática de calagem para melhora de sua fertilidade. Este estudo teve como objetivo estimar a calagem pelo método do pH SMP para solos agriculturalmente representativos de Arapoti, Ponta Grossa, Palmeira, Contenda e Cascavel, por meio da incubação dos solos com doses crescentes de Carbonato de Cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), visando estabelecer uma tabela de recomendação de quantitativos de corretivo apropriada para atingir pH desejado. As amostras dos solos destas localidades foram submetidas à determinação de pH  $\text{CaCl}_2$ , pH em  $\text{H}_2\text{O}$  e pH SMP, e posterior análise de regressão linear visando estabelecer uma equação que estimasse dosagens apropriadas para cada região. Para os solos de Arapoti, Ponta Grossa, Palmeira, Contenda e Cascavel, as equações logarítmicas  $y = -39,855\text{Ln}(x) + 70,485$  ( $R^2 = 0,6252$ ),  $y = -59,246\text{Ln}(x) + 107,8$  ( $R^2 = 0,6261$ ) e  $y = -78,637\text{Ln}(x) + 145,12$  ( $R^2 = 0,6252$ ) foram as que melhores estimaram as dosagens de corretivos, para se atingir pH 5,5, 6,0 e 6,5 respectivamente.

**PALAVRAS CHAVE:** Fertilidade do solo, química do solo, método SMP.

## ABSTRACT

The use of pH SMP method to recommend the amount of corrective agents of the soil acidity has been largely applied in the state of Paraná, and presents advantages over other methods of estimation of the potential acidity, as the method of calcium acetate 0,5 mol L<sup>-1</sup>, pH 7, but requires previous edaphologic regionalism to safely estimate the corrective values to be applied.

The largest grain harvest among the Brazilian states was produced in the soils of Paraná state. In general, these soils are acid and require gluing practices to improve its fertility. This research aimed to estimate the gluing through the pH SMP method, to soils that represent the agriculture of Arapoti, Ponta Grossa, Palmeira, Contenda and Cascavel, through the process of incubation of soils with increasing doses of Calcium Carbonate (CaCO<sub>3</sub>), in order to establish a list of recommendation of the amount of correctives appropriate to reach the desired pH. The soil samples of these places were submitted to the determination of pH CaCl<sub>2</sub>, pH in H<sub>2</sub>O and pH SMP, and later analysis of linear regression to establish an equation that would estimate dosages appropriate for each region. For the soils of Arapoti, Ponta Grossa, Palmeira, Contenda and Cascavel, the logarithmic equations  $y = -39,855\ln(x) + 70,485$  ( $R^2 = 0,6252$ ),  $y = -59,246\ln(x) + 107,8$  ( $R^2 = 0,6261$ ) e  $y = -78,637\ln(x) + 145,12$  ( $R^2 = 0,6252$ ) were the ones that better estimated the dosages of correctives, to reach pH 5,5, 6,0 and 6,5 respectively.

KEY – WORDS: Fertility of soil, chemistry of soil, SMP method.

## 1 INTRODUÇÃO

Os solos agricultáveis brasileiros, em sua maioria, são ácidos e de baixa fertilidade natural, em consequência a produção de alimentos e matérias-primas agrícolas é muito dependente das práticas de calagem (GOEDERT, 1995).

Muitos solos do Estado do Paraná são ácidos em seu estado natural, e apresentam teores de alumínio (Al) em forma e níveis tóxicos às plantas que limitam o aumento do rendimento vegetal. Por isso, a calagem é uma prática agrícola recomendada para a correção da acidez excessiva de solos adotada generalizadamente pelos produtores, e que, na maioria das situações, proporciona benefícios econômicos e até ambientais.

Além da calagem ser prática consagrada para correção da acidez dos solos, está estimula a atividade microbiana e torna a maioria dos nutrientes mais disponíveis para as culturas, sendo esta também prática fundamental para a melhoria do ambiente radicular das plantas.

Quando executada de forma correta, permite a exploração racional de uma área, uma vez que reduz os efeitos nocivos da acidez, diminuindo a concentração, na solução do solo, de elementos como ferro (Fe), alumínio (Al) e manganês (Mn).

A recomendação de calagem baseia-se na estimativa da acidez potencial do solo, a qual pode variar de acordo com a metodologia empregada para sua quantificação.

A quantidade de calcário a se aplicar pode ser estimada por vários métodos. Um dos métodos usados para tanto é o SMP, acrônimo de Shoemaker, Mc Lean e Pratt, criado por SHOEMAKER et al., (1961). Em diversos países, a solução-tampão SMP (Shoemaker et al., 1961) é o método mais utilizado na avaliação a acidez potencial, inclusive nos laboratórios de análises químicas de solo do Paraná. Apesar de ter sido inicialmente desenvolvida para determinar a necessidade de calagem e estar sendo amplamente difundida para este fim (RAIJ et al., 1979; ERNANI & ALMEIDA, 1986b), o método SMP vem sendo cada vez mais empregado no Brasil para a avaliação da acidez potencial. Isso se deve, principalmente, à simplicidade,

rapidez, baixo custo e eficiência desse método. Com vistas em estimar a acidez potencial de solos de diferentes estados e regiões brasileiras, vários estudos têm sido desenvolvidos por meio do pH SMP. Entre eles destacamos o de PAVAN et al. (1996), para o estado do Paraná. O método baseia-se na diminuição do pH de uma solução tamponada a pH 7,5 quando em contato com o solo. Tal diminuição do pH é proporcional à acidez potencial do solo, que é fator determinante da quantidade de corretivo necessária para neutralizar a acidez. Para ser usado, o SMP é calibrado contra um método padrão. O padrão normalmente usado para este fim é a incubação de amostras de solo de uma região com níveis crescentes de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) puro, durante o tempo necessário para sua reação completa e estabilização dos níveis do pH.

No presente trabalho pretendeu-se calibrar o método SMP, para cinco unidades de solo de ocorrência em regiões agriculturalmente representativas do Paraná, levantados nos índices do *Valor Bruto da Produção* – VBP, usando-se diferentes tipos de solos tratados com corretivo em distintas dosagens.

O índice VBP, segundo ANDRETTA et al. (2004), apresenta uma completa radiografia sobre a produção agrícola do Estado, observada em cada município e através deste podemos avaliar o desempenho da agricultura no período, bem como as divisas financeiras geradas pela atividade agrícola em cada município.

O fato de existir uma estreita relação entre este índice com os níveis de fertilidade do solo de cada região produtora, corrobora para a justificativa de seu uso como um dos fatores para a escolha dos solos estudados, pois a melhora desses solos pode representar incremento na produção e alteração na estimativa deste índice.

Espera-se que ocorra um incremento de valores de pH SMP seguidos de uma queda desses valores e posterior estabilização do pH em virtude da influência temporal da incubação desses solos.

De acordo com PAVAN et al. (1996) e QUAGGIO & RAIJ (2001), o uso deste método deve ser precedido de uma regionalização edafológica prévia, para obter curvas de calibração específicas.

Se por um lado a diversidade de clima, solos e relevo representam a grande riqueza do Paraná, por outro lado é necessário conhecer esse potencial e identificar as regiões com características de solo adequadas para cada espécie vegetal, para

que o potencial produtivo possa ser maximizado. Assim, a escolha dessas regiões foram analisadas através de mapa de solos que fossem agriculturalmente representativos no Estado, tiveram como alvo a delimitação de regiões homogêneas, com condições adequadas para o cultivo de culturas anuais e perenes, bem como as melhores níveis de produção das culturas anuais como a soja. Por meio da redução da acidez do solo associados a outros fatores, proporcionado pelo cultivo nas regiões e técnicas adequadas, será oferecido aos produtores condições para obterem produtividades mais elevadas com menor risco, sem que haja aumento nos seus custos de produção.

Em função disso, o objetivo deste trabalho foi calibrar o método SMP para determinação da necessidade de calagem para alguns solos representativos ao cultivo agrícola do estado Paraná.



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Estimar pelo Método SMP a determinação de doses de corretivos da acidez para 5 solos agriculturalmente representativos do Estado do Paraná.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos desta dissertação foram:

- Avaliar os efeitos da aplicação de dosagens crescentes de carbonato de cálcio na acidez ativa (expressa em pH em  $H_2O$  e em  $CaCl_2$ ) e potencial (pH SMP) dos 5 solos submetidos à incubação com 5 doses de  $CaCO_3$ ;
- Construir curvas de neutralização que demonstrem a comportamento da acidez ativa (pH em  $H_2O$  e em  $CaCl_2$ ) e potencial (pH SMP) para os 5 solos incubados durante 227 dias;
- Estabelecer doses de  $CaCO_3$  necessárias para se elevar o pH em  $H_2O$ , originalmente obtido para cada um dos 5 solos estudados, até os seguintes valores: 5,50, 6,00 e 6,50;
- Estabelecer doses  $CaCO_3$  necessárias para se elevar o pH em  $CaCl_2$ , originalmente obtido para cada um dos 5 solos estudados, até os seguintes valores: 5,00, 5,50 e 6,00;
- Gerar equações e gráficos que relacionem o rebaixamento sofrido pela solução SMP (pH SMP) em contato com cada um dos 5 solos estudados (antes da aplicação de qualquer corretivo), com a dose de  $CaCO_3$  a ser aplicada para se neutralizar a acidez ativa (elevar pH  $H_2O$  e  $CaCl_2$ ) até valores previamente planejados;

- Construir, com base no Método SMP, tabela de doses de corretivos da acidez para os solos estudados;
- Comparar as recomendações obtidas a partir da estimativa de calagem pelo do Método SMP neste trabalho com aquelas geradas por SBCS-NRS (1995) para os solos estudados;
- Avaliar a possibilidade de extrapolação dos resultados para as regiões do Paraná estudadas;

### **3 HIPÓTESES**

O método de estimativa de doses de corretivos de acidez de solos conhecido como “Método do SMP” (proposto originalmente por SHOEMAKER et al., 1961) e calibrado para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (conforme proposição da ROLAS, 1994) as superestima para cinco solos do Paraná, o que pode ser um indicio deste fazê-lo também para muitas outras unidades de mapeamento deste estado. Ao se calibrar o método do SMP para um número restrito de solos (cinco) com características (químicas, físicas, biológicas e mineralógicas) bastante restritas espera-se obter tabela com recomendação em até 50% diferentes das propostas para os dois estados do extremo sul brasileiro.

## 4 REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 A NATUREZA DA ACIDEZ DOS SOLOS

O equilíbrio ácido-base encontra-se associado à quase todos os processos que ocorrem no interior dos solos. Assim, atua diretamente nas propriedades físicas e químicas com influências e conseqüências fortes sobre os aspectos biológicos do ambiente (LUCHESE et al., 2002).

E ainda o mesmo autor, define que uma solução neutra, isto é, nem ácida nem básica, possui  $a_{H^+}=1,0 \times 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$  que igual a  $[H^+]=1,0 \times 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$  e este valor é pequeno, menor do que 1, convencionou-se trabalhar com o logaritmo deste número, tomado negativamente, denominado de *pH* ou seja:

$$pH = -\log 1,0 a_{H^+} = -\log [H^+] \quad [E.1]$$

ou para o exemplo citado

$$pH = -\log 1,0 \times 10^{-7} = 7,0$$

E conclui que, o pH é uma forma mais simples de expressar a acidez, através de números variando no intervalo de interesse de 0 a 14, que correspondem aos expoentes dados à base 10, tomados com sinal negativo, equivalentes aos respectivos valores da acidez.

A presença dos íons  $Al^{3+}$  e  $H^+$  na fração da carga negativa permanente das argilas em solos ácidos esta intimamente relacionado com a acidez destes solos, constituindo o que geralmente denomina-se acidez de troca. A dualidade do papel do cátion alumíniohexahidroneo como trocador de próton (dependente do pH) e ao mesmo tempo a sua trocabilidade em KCl, fez com que houvesse uma vacilação histórica na nomenclatura entre o “H trocável” e o “Al trocável” como causas da acidez dos solos (JACKSON, 1963).

GALVÃO (1994) conceitua que o pH é uma medida da atividade dos íons  $H^+$  na solução do solo, normalmente é medido numa suspensão da solução solo-água por causa de dificuldades na obtenção da solução verdadeira do solo.

A maior ou menor acidez de um meio qualquer, por exemplo da solução do solo, é a maior ou menor atividade dos íons  $\text{H}_3\text{O}^+$ , ou simplesmente  $\text{H}^+$ , presente no meio, que pode ser expressa em função da concentração ou atividade dos íons  $\text{H}^+$  ( $a_{\text{H}^+}$ ) presentes (LUCHESE et al., 2002).

JENNY (1961) fez um ótimo relato acerca do desenvolvimento das diversas teorias. Assim Veitch, em 1904, mostrou que em extratos obtidos por meio de sucessivas lavagens com NaCl em solos ácidos com baixo teor de húmus, havia a presença de alumínio, ferro e manganês, e atribuiu que a fonte de acidez dos solos era devida a sua fração mineral, reconhecendo entre as várias reações possíveis o deslocamento do alumínio pelo sódio. Isto diferia radicalmente da teoria predominante então, segundo a qual a acidez era originada dos ácidos húmicos presentes no solo.

A hipótese de que o alumínio seria o principal agente causador da “acidez trocável” foi sustentada ainda por Daikuhara em 1914 e Kappen em 1916. Ainda segundo o autor, os trabalhos de Bradfield em 1923, vieram novamente modificar os conceitos sobre a acidez dos solos. Esta seria originada dos íons  $\text{H}^+$  dos colóides argilosos (teoria do H argila).

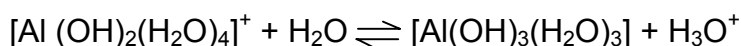
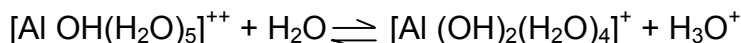
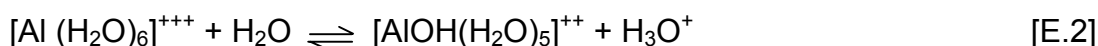
Paver e Marshall em 1934, trouxeram novos conhecimentos a ciência do solo quando propuseram a ligação H-Al-argila, ao invés de somente H. Outros trabalhos seguiram-se a este, como os de Schofield em 1946, Chernov em 1947, Russel em 1950 e Coleman de 1952 a 1954, retornando assim a teoria preconizada por Veitch.

O estudo do comportamento de argilas acidificadas por meios artificiais foi enfatizado em vários trabalhos a partir da década de 50, como os de HARWARD & COLEMAN (1954), LOW (1955), COLEMAN & CRAIG (1961) e DAVIS et al (1962), dentre outros, tendo esclarecido amplamente o papel do  $\text{H}^+$  e do  $\text{Al}^{3+}$  como componentes da “acidez trocável” dos solos.

Ficou evidenciado principalmente que o caráter ácido fraco das suspensões de argila era devido ao  $\text{Al}^{3+}$ , e que as argilas saturadas com  $\text{H}^+$  não eram estáveis e se transformavam espontaneamente em argilas saturadas de  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ , devido ao ataque do  $\text{H}^+$  à rede cristalina dos minerais de argila. Além de contribuírem para explicar os pequenos teores de hidrogênio comumente encontrados nos solos, estes

trabalhos serviram para elucidar que o alumínio trocável é consequência e não causa da acidez dos solos.

Em soluções fortemente ácidas o alumínio ocorre como um cátion trivalente complexo, no qual um átomo de alumínio está circundando por seis moléculas de água em coordenação formando  $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{+++}$  (Mc LEAN, 1965), e denominado “aluminiohexahidroneo” segundo termo proposto por JACKSON (1963). Quando o pH aumenta, primeiro um e depois dois grupos de água perdem um íon  $\text{H}^+$  (ou uma molécula de água é deslocada por um íon  $\text{OH}^-$ ) formando cátions hidroxialumínicos mono ou divalentes (Mc LEAN, 1965). Esta reação pode ser representada, segundo BLACK (1975), pelas seguintes equações:



As diversas formas que o alumínio toma em função da variação do pH do solo, podem ser representadas simplesmente como  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$  e  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$  segundo JACKSON (1963).

Algumas destas formas permanecem na solução do solo, muitas podem estar adsorvidas como monômeros aos sítios de troca catiônica do solo e, além disso, podem ser adsorvidas e então polimerizadas na superfície dos minerais de argila ou pela matéria orgânica do solo (Mc LEAN, 1976).

PIONKE & COREY (1967) sugerem a ocorrência das seguintes reações com o alumínio ácido do solo:



Dentro deste esquema,  $\text{Al}^{3+}$  representa a atividade do íon alumínio trivalente hidratado na solução do solo.  $\text{Al-x}$  refere-se ao alumínio trocável com KCl.  $\text{Al-MO}$ , alumínio ácido não trocável, complexado pela matéria orgânica.  $\text{Al y (OH)}^{2+}_{3y-z}$  compreendendo o alumínio ácido não trocável, polimerizado e provavelmente residindo na superfície das partículas de argila. O aumento do pH induziria a transformação das formas trocáveis e polimerizadas em  $\text{Al (OH)}_3$ . Ao contrário, o abaixamento do pH tenderia a transformar as formas não trocáveis e o  $\text{Al (OH)}_3$  em formas trocáveis, dada a reversibilidade da reação.

Para uma mesma concentração de alumínio, considerando-se o pH constante, um incremento no teor de matéria orgânica aumentaria a forma não trocável do alumínio, devido a complexação da forma trocável pelo complexo orgânico do solo. Na mesma situação dada acima, aumentando-se o teor de argila, aumentaria o alumínio trocável às expensas do alumínio ligado à matéria orgânica, confirmando o aparente equilíbrio entre as diversas formas do alumínio no solo.

Vários trabalhos (COLEMAN et al, 1959; LIN & COLEMAN, 1960 e BHUMBLA & Mc LEAN, 1965) indicam que as formas trocáveis do alumínio podem ser extraídas com soluções de sais neutros, não tamponados, sendo comumente referidas como acidez trocável (COLEMAN & THOMAS, 1967). LIN & COLEMAN (1960) e DEWAN & RICH (1970) destacam o KCl como o extrator de maior eficiência nesta determinação. Segundo KAMPRATH (1970), abaixo de pH 5,4 a capacidade tamponante dos solos é devida primariamente ao alumínio trocável.

As formas parcialmente hidrolizadas do alumínio parecem estar tão fortemente adsorvidas ao complexo coloidal do solo, que não podem ser extraídas por soluções de sais não tamponadas (THOMAS, 1960). Comparando vários métodos de extração do alumínio em solos e argilas, Mc LEAN et al (1959) mostram que em condições extremamente ácidas, com pH em torno de 4,0, os sais não tamponados extraem quantidades equivalentes de alumínio ao  $\text{NH}_4$  AOC a pH 4,8, entretanto com o aumento do pH, este último extrai progressivamente quantidades maiores de alumínio. Trabalhos posteriores, de PRATT & BAIR (1961), por outro lado, indicam que o  $\text{NH}_4$  OAC a pH 4,8 extrai outras formas adicionais de alumínio, além da trocável. Estas incluiriam uma fração mais reativa dos polímeros de hidróxido de alumínio e alumínio complexado pela matéria orgânica (PIONKE & COREY, 1967).

Embora exista uma generalização no sentido de tomar-se a acidez extraída pelo KCl 1N como sendo totalmente alumínio trocável, os trabalhos de YUAN (1959, 1963) na Flórida mostraram que o hidrogênio trocável em certos casos pode contribuir significativamente para a acidez trocável. Os resultados obtidos, segundo COLEMAN & THOMAS (1967) podem ser atribuídos à presença de elevados teores de matéria orgânica nos casos estudados. Conclusões semelhantes foram obtidas por Schwertmann, em 1961 (JACKSON, 1963; BLACK, 1975), o qual verificou que as quantidades apreciáveis de hidrogênio trocável somente eram encontradas em extratos de KCl dos solos ácidos ricos em matéria orgânica.

COLEMAN & THOMAS (1967), com base em trabalhos anteriores, afirmam que grande parte da acidez do solo acima de pH 5,5 é titulável, mas não trocável, sendo deslocada somente por sais tamponados. Os extratores mais comumente utilizados para medir a acidez titulável dos solos são o acetado de amônio a pH 7,0 e o cloreto de bário mais trietanolamina a pH 8,2, e servem para a determinação da acidez dependente do pH quando descontada a acidez trocável extraída por sais não tamponados (BHUMBLA & LEAN, 1965; Mc LEAN et al, 1965 e COLEMAN & THOMAS, 1967). No Brasil esta determinação é feita com acetado de cálcio tamponado a pH 7,0, conforme método descrito por VETTORI (1969).

Em solo que não tenha sofrido lixiviação por sais tamponados, a acidez extraída por sal tamponado inclui também as formas trocáveis da acidez, sendo por isso denominada acidez total (COLEMAN & THOMAS, 1967), a acidez potencial (KINJO, 1983).

#### **4.2 PROPRIEDADES DOS SOLOS E A NECESSIDADE DE CALCÁRIO PARA CORREÇÃO DE SUA ACIDEZ EXCESSIVA**

Muitas propriedades dos solos associadas com sua acidez, e várias combinações destas propriedades, têm sido utilizadas para estimar a necessidade de calcário dos solos.

KEENEY & COREY (1963) trabalhando com 26 solos ácidos de Wiscorsin (Estados Unidos da América - EUA), compararam várias propriedades dos solos com a necessidade de calcário para elevação do pH dos mesmos ao valor de 6,5 por incubação. A matéria orgânica foi o contribuinte mais importante nesta necessidade,



sendo que o alumínio trocável e a fração argila não influenciaram-na significativamente, provavelmente pelos baixos teores encontrados naqueles solos.

PRATT (1961), à semelhança dos resultados obtidos por COLEMAN et al (1959) em solos do noroeste dos EUA, mostrou que em solos da Califórnia, a CTC depende do pH, isto é, CTC a pH 8,2 – CTC a pH do solo obtida pelo KCl, tinha valores equivalentes à acidez dependente do pH, sendo a carga permanente aproximadamente igual à soma dos cátions metálicos básicos mais o alumínio trocável. Além disso, os resultados mostraram que as quantidades de  $\text{CaCO}_3$  (em e.mg) requeridas para saturar o solo (ponto de inflexão) menos a acidez trocável eram iguais a CTC dependente do pH. Embora Mc LEAN et al (1965) tenham evidenciado que o critério para carga permanente da CTC, tomada como a soma dos cátions metálicos deslocada pelo KCl possa ser superestimada se não se leva em conta o pH do adsorvente quando a lavagem com KCl se inicia, os estudos de PRATT (1961) mostraram a estreita correlação existente entre a CTC dependente do pH e a necessidade de calcário dos solos.

Trabalhos realizados por ROSS et al (1964) em nove solos do Estado de Michigam (EUA), comparando propriedades físicas e químicas dos solos com a necessidade de calcário para pH 6,8 obtido por incubação, mostraram que esta correlacionou-se significativamente com a capacidade de troca de cátions, obtida a pH 7,0, conteúdo de matéria orgânica, fração argila e hidrogênio trocável, este definido pelos autores como a diferença entre a CTC determinada a pH 7,0 e a soma de bases trocáveis dos solos. KAMINSKI (1974) fez observações semelhantes em 34 solos ácidos do Rio Grande do Sul.

Mc LEAN et al (1965) mostraram a influência da aplicação de calcário e destruição da matéria orgânica na CTC. Constataram marcante incremento na CTC obtida pelo KCl 1N pela calagem, sendo que a destruição da matéria orgânica causava pronunciado decréscimo nesta mesma CTC somente nos solos que haviam sofrido calagem. A CTC dependente do pH teve drástica redução nos solos com maiores níveis de calagem, nos quais a matéria orgânica estava presente. Sua destruição com  $\text{H}_2\text{O}_2$  causava decréscimo substancial nesta mesma CTC somente nos solos com menores níveis de calagem. Os autores mostraram que a matéria orgânica é a principal responsável pelo componente da acidez desenvolvido a alto pH, bem como que as mudanças na CTC pela calagem e destruição da matéria

orgânica parecem resultar da ativação ou inativação de sítios de troca da matéria orgânica inicialmente bloqueados pelo alumínio. HELLING et al (1964) e Mc LEAN & OWEN (1970) estudaram a contribuição da matéria orgânica e da argila para a CTC, em diferentes níveis de pH, tendo observado que a contribuição da argila para a CTC dependente do pH era maior a pH mais baixo, sendo a matéria orgânica o contribuinte de maior importância a pH mais elevado.

Estudos realizados por PIONKE et al (1968) com 126 solos ácidos de Wiscorsin (EUA) mostraram que as principais propriedades dos solos que influíram na necessidade de calcário incluem, por ordem de importância, os sítios dependentes do pH da matéria orgânica, o alumínio ácido não trocável, o alumínio trocável e os sítios dependentes do pH das argilas.

COLEMAN & THOMAS (1967) sugerem que a necessidade de calcário dos solos dependeria da acidez trocável, devida principalmente aos íons monômeros de Al, até pH em torno de 5,5. Acima destes valores teriam maior influência os grupos funcionais ácidos da matéria orgânica e os polímeros de hidróxido de alumínio, reforçando o importante papel do alumínio, em suas diversas formas, para a acidez dos solos.

#### **4.3 A CALAGEM**

A calagem é considerada uma das práticas agrícolas mais antigas, tendo sido usada pelos romanos há mais de três mil anos (Mc COOL & MILLAR, 1918; KELLEY, 1948). Os gregos aplicavam marga (deposito de argila mesclada com calcário) ao solo e os romanos aprenderam essa prática dos gregos. Plínio, que viveu entre os anos 62-113 d.C., dizia que o calcário deveria ser distribuído em uma fina camada e que uma aplicação seria “suficiente para muitos anos, mas não para 50” (TISDALE et al., 1993).

Nos EUA, a calagem teve início entre 1825 a 1845 na região leste, no estado de Virginia, por Edmund Ruffin (TISDALE et al. 1993), e gradualmente foi sendo adotada à medida que a colonização ocorreu na direção oeste do país (Mc COOL & MILLAR, 1918).

Segundo Mc LEAN & BROWN (1984) o rápido desenvolvimento da indústria de calcário agrícola, nos EUA, antes de 1950 foi uma consequência de inúmeros

fatores. Houve um esgotamento da fertilidade do solo pela remoção de colheitas, erosão e lixiviação do solo. Muitos agricultores, que receberam treinamento para a agricultura vocacional, adquiriram informações de métodos para manter altos os níveis de fertilidade do solo. Os subsídios federais para aplicação de calcário, no interesse da conservação do solo, encorajaram o uso de calcário. O desenvolvimento de rodovias pavimentadas ao longo do Meio Oeste do país, resultou na acumulação de usinas de britagem de pedra, aonde a pedra calcária começou a ser britada para o uso no fabrico de calcário; e com o aumento da malha viária caminhões e equipamento vieram por transportar e esparramar calcário nos campos dos fazendeiros.

Mc LEAN & BROWN (1984) demonstram quantidades de calcário usados no período compreendido de 1946 a 1980, entre dos 12 estados do Meio Oeste dos EUA, após a segunda guerra mundial, destacando os estados de Illinois:  $120.377 \times 10^3$  ton, Missouri:  $96.043 \times 10^3$  ton, Iowa:  $76.751 \times 10^3$  ton e Indiana:  $63.470 \times 10^3$  ton. Num total de mais de  $509.583 \times 10^3$  ton de calcário entre os anos de 1946 a 1980 para estes 12 estados.

No Brasil, a calagem provavelmente vem sendo usada desde a década de 20, pois nessa época, em 1923, no Rio Grande do Sul, foi instalada a primeira indústria de calcário (BANCO..., 1969). Também nesse período ocorreu a segunda etapa de colonização dos solos ácidos e vermelhos das regiões do Planalto e das Missões no Rio Grande do Sul, através dos descendentes de italianos, alemães, poloneses e outros.

O termo calagem, como é usado em agricultura, significa adição ao solo de qualquer composto contendo Ca ou Mg e que seja capaz de reduzir a acidez. As substâncias mais importantes são carbonatos, óxidos e hidróxidos de Ca e de Mg. Sulfatos e cloretos de Ca e de Mg não tem efeito como corretivo da acidez. O calcário agrícola é extraído de minas e a maioria é submetido apenas ao processo físico de moagem (WIETHÖLTER, 2000).

REDE... (1994), esclarece que a calagem objetiva elevar o pH do solo até determinado valor, visando a neutralizar ou reduzir os efeitos tóxicos do alumínio e/ou do manganês do solo, bem como melhorar o ambiente radicular para as plantas absorverem os nutrientes.

Solos de regiões tropicais, caso da maioria dos solos do Brasil, formaram-se em condições de temperaturas elevadas e regime hídrico intenso. Isto levou e leva à lixiviação de bases e à estabilização da atividade microbiana em patamares muito baixos tornando-se de fertilidade limitada (LUCHESE et al., 2002)

Ainda segundo LUCHESE et al. (2002), a correção desses solos através de compostos com características básicas, leva a uma melhoria nas condições da fertilidade dos mesmos traduzida pela: a) melhoria nas propriedades físicas, pela melhoria estrutural dos solos, melhores condições de aeração e movimento da água; b) variação dos efeitos benéficos nas propriedades químicas, incremento a CTC, a retenção de cátions e suas quantidades, pois são na maioria das vezes agregados juntamente com os corretivos; c) ação nas propriedades biológicas, ao aumentar a atividade biológica e, por isso, provocando uma mineralização mais intensa da matéria orgânica.

Respostas positivas pela correção da acidez de um solo podem ser encontradas facilmente em trabalhos especializados, como mostra a Tabela 1.

TABELA 1 – EFEITO DA CALAGEM NO RENDIMENTO DA SOJA.

Estado	Produtividade		Aumento da produtividade devido à calagem (%)
	Sem calagem, com adubo (kg/ha)	Com calagem, com adubo (kg/ha)	
RS(1)	1.930	3.110	61
SC(2)	1.870	2.260	20
PR(3)	1.120	2.860	115
SP(3)	1.590	2.100	32
GO(4)	1.520	2.660	75
MG(5)	1.080	2.080	93

(1) Médias de 5 anos e 7 locais; (2) Médias de 2 anos; (3) Médias de 3 anos; (4) Médias de 1 ano; (5) Médias de 1 ano e 4 locais.

FONTE – Volkweiss & Tedesco (1984).

Muitos solos brasileiros na forma original são quimicamente ácidos e deficientes em um ou mais nutrientes essenciais às plantas. A aplicação de calcário a solos ácidos, aliado a outras práticas de melhoria da fertilidade e do manejo do solo, tem a função de elevar a capacidade produtiva do solo, mediante o aumento da capacidade de troca de cátions, aumento da disponibilidade de nutrientes e

insolubilização de elementos tóxicos às plantas, que, no conjunto, se traduz em aumento de rendimento das culturas, um requisito básico para viabilizar economicamente a demanda atual de produção de alimentos e melhorar a sustentabilidade econômica da atividade agrícola (WIETHÖLTER, 2000).

Segundo REDE OFICIAL DE LABORATÓRIOS DE ANÁLISE DE SOLO E DE TECIDO VEGETAL DOS ESTADOS DO RIO GRANDE DO SUL E DE SANTA CATARINA – ROLAS, (1994), a prática da calagem objetiva elevar o pH do solo até determinado valor, visando a neutralizar ou reduzir os efeitos tóxicos do alumínio e/ou do manganês do solo, bem como melhorar o ambiente radicular para as plantas absorverem os nutrientes. Ainda o mesmo autor afirma que, em geral, solos com teores elevados de alumínio, de matéria orgânica e de argila requerem maiores quantidades de corretivo, pois esses representam fontes de acidez potencial no solo e de tamponamento do pH.

A calagem é uma prática atualmente muito difundida em várias regiões brasileiras, especialmente no Sul e Sudeste, onde se concentra grande parte da produção agrícola nacional, e onde os solos são bastante ácidos, afetando o desenvolvimento normal das culturas.

Embora a acidez dos solos constitua, normalmente, um fator negativo ao desenvolvimento das plantas, o estabelecimento de doses adequadas de calagem bem como o pH a ser alcançado, é tarefa mais difícil, tendo em vista que várias espécies vegetais tem graus distintos de tolerância a acidez e portanto podem reagir também de forma distinta à calagem.

Muitos métodos têm sido propostos para avaliar a exigência de calcário dos solos, a maioria deles já tendo sido testados em nossas condições. Dentre os mais utilizados no Brasil destaca-se o método do alumínio trocável e o do tampão SMP.

O método do alumínio trocável teve sua difusão no país, a partir da divulgação do Programa Internacional de Análise de Solos, em 1965. Pode estar associado ou não ao método da elevação dos teores de cálcio mais magnésio do solo a valores compreendidos entre 2 e 3 meq/100g de solo, e é método que predomina em grande parte dos estados brasileiros nas recomendações rotineiras de calcário. Já no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, emprega-se o método conhecido como SMP, que prevê a elevação do pH ao valor 6,0.

WIETHÖLTER (2000) diz que no estado de São Paulo foi introduzido um critério para recomendação das doses de calcário, constituindo-se numa adaptação ao método proposto por CATANI & GALLO (1955), e prevê a quantidade a ser aplicada em função da elevação da saturação em bases do solo a distintos valores, dependendo da cultura a ser implantada. Esse mesmo método também é muito utilizado em laboratórios do estado do Paraná.

#### **4.3.1 Efeitos de aplicação de corretivos no solo**

Segundo BRADY (1989), existem várias referências a respeito das transformações e efeito do calcário no solo, porém os efeitos mais conhecidos da calagem são considerados sob três tópicos: físico, químico e biológico.

BRADY (1989) destaca como efeitos físicos pode-se destacar que uma estrutura granular satisfatória poderá ser estimulada em solo ácido, por qualquer forma de calagem, embora sua influência seja principalmente indireta. Por exemplo, assumem importância significativa os efeitos da calagem sobre as forças biológicas, principalmente aquelas que tem ligação com a decomposição da matéria orgânica do solo e com a síntese do húmus. A gênese do húmus, assim como sua persistência incrementam sobremodo a granulação. Sob esse aspecto, é significativa a ação estimulante da calagem em vegetais com raízes profundas, especialmente nas leguminosas. Se um solo com pH 5 for submetido a calagem para atingir valor mais elevado, por exemplo a pH 6,5, ocorrerão várias transformações químicas bastante significativas.

Ainda este autor destaca a diminuição da concentração de íons de hidrogênio; o aumento da concentração de íons de hidroxila; diminuição da solubilidade de ferro, do alumínio e do manganês; aumento da assimilação dos fosfatos e dos molibdatos; aumento do cálcio e do magnésio permutáveis; aumento da porcentagem de saturação de base e o aumento ou diminuição da assimilação do potássio, na dependência das condições reinantes. Entre todos os efeitos específicos da calagem mencionadas a redução da acidez é aquela mais reconhecida. No entanto, os efeitos indiretos sobre a assimilação de nutrientes e sobre a toxidez de certos elementos são provavelmente mais importantes.

A calagem dos solos ácidos aumenta a assimilabilidade e a captação por parte dos vegetais, no que toca a certos elementos como molibdênio, fósforo, cálcio e magnésio. Ao mesmo tempo a calagem reduz de maneira drástica as concentrações de ferro, alumínio e manganês que, sob condições de elevada acidez, poderão atingir quantidades tóxicas. Os efeitos biológicos da calagem ocorrem principalmente na estimulação dos organismos heterotróficos de finalidade geral. O estímulo favorece, não só a formação do húmus, como auxilia também na eliminação de certos produtos orgânicos intermediários que poderão mostrar-se tóxicos aos vegetais superiores.

Segundo BRADY (1989) os organismos favoráveis do solo e também os desfavoráveis, são favorecidos, na sua maioria pela calagem. A formação de nitratos e de sulfetos no solo é muito acelerada pela elevação do pH. Das bactérias fixadoras de nitrogênio do ar, tanto as não simbióticas como as dos nódulos das leguminosas, são muito estimuladas pela prática de calagem. O fomento a proliferação da maioria dos organismos do solo depende tanto do calcário, que não será possível uma atividade biológica satisfatória quanto os montantes de cálcio e de magnésio estiverem reduzidos. Em especial a influência do calcário sobre a redução da toxidez de certos metais pesados, como chumbo, zinco, cádmio e níquel, encontrados com frequência nos despejos de esgotos, dos quais crescentes quantidades estão sendo adicionadas ao solo, necessita de destaque. Em geral esses elementos são menos solúveis sob condições alcalinas do que ácidas. Isso significa que apresentam menor aptidão para serem captados pelos vegetais, quando o pH do solo é igual a 7 ou superior. Mostra também os perigos de aplicação de despejo de esgotos com montantes elevados desses metais em solos muito ácidos.

## **4.4 OS CORRETIVOS**

### **4.4.1 A natureza química dos corretivos**

Os materiais corretivos comumente usados na calagem são óxidos, hidróxidos e carbonatos ou silicatos de cálcio e/ou magnésio. É a união do útil ao agradável. Tanto o cálcio quanto o magnésio são essenciais para as plantas e,

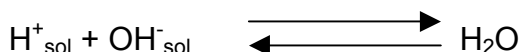
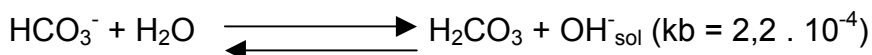
normalmente, se apresentam em baixa disponibilidade nos solos ácidos. Por outro lado, são compostos químicos que diminuem a atividade dos íons  $H^+$  e  $Al^{+3}$  na solução do solo, o que é benéfico para as plantas e microorganismos (FURTINI NETO et al., 2004).

Segundo BRADY (1989), a acidez do solo e as condições fisiológicas que a acompanham resultam numa deficiência de cátions metálicos adsorvidos (denominados bases) em relação ao hidrogênio, e que para diminuir a acidez o hidrogênio e o alumínio deverão ser substituídos por cátions metálicos, muitas vezes conseguido pela adição de óxidos, hidróxidos ou carbonatos de cálcio e de magnésio.

#### 4.4.2 O calcário, sua aplicação e características

Segundo RAIJ (1991), o material corretivo mais utilizado na neutralização da acidez dos solos é o calcário.

FURTINI NETO et al., (2004) afirma que o calcário é o corretivo mais indicado e, portanto mais usado na prática da calagem. É simplesmente obtido pela moagem de rochas calcárias, cujos constituintes químicos básicos são  $CaCO_3$  e  $MgCO_3$ . A ação neutralizante do calcário se deve às seguintes reações:



Portanto, ainda segundo FURTINI NETO et al., (2004) o ânion acompanhante do cálcio ou do magnésio é o responsável pela neutralização. Observa-se que o valor da constante de ionização ( $K_b$ ) indica que o  $CO_3^{-2}$  é uma base fraca, isso é, a formação dos íons neutralizantes  $OH^-$  é lenta. Esta é a razão da



necessidade de se aplicar calcário com a devida antecedência ao plantio. Ademais, deve-se destacar a importância de um adequado teor de água no solo para reação do calcário e de todo e qualquer corretivo.

Segundo BRADY (1989), os dois componentes mais importantes existentes no calcário são a calcita, que é sobretudo um carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e dolomita, que é basicamente carbonato de cálcio e de magnésio [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ].

O teor de magnésio e de Cálcio de um calcário é uma característica muito importante a ser considerada no processo de escolha do mesmo. Caso a interpretação da análise indicar que o solo está deficiente em magnésio é altamente recomendado a escolha de um corretivo mais rico neste nutriente. (FURTINI NETO et al., 2004)

A maioria do calcário triturado existente no mercado é calcico e dolomítico, embora haja disponibilidade de dolomita moída em certas localidades (BRADY, 1989).

FURTINI NETO et al., (2004) diz que quando são necessários tanto o cálcio quanto o magnésio, devem-se usar materiais calcários que contenham ambos os nutrientes. Alguns calcários contêm quantidades iguais de carbonatos de cálcio e de magnésio, mas trabalhos de pesquisa mostram que cerca de 10% de  $\text{MgCO}_3$  são suficientes para suprir o magnésio. A necessidade de calcários que contenham magnésio varia entre regiões. Em solos arenosos há mais probabilidade de deficiência deste nutriente.

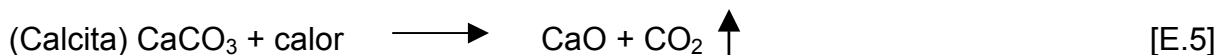
BRADY (1989), ressalta que o calcário moído é eficaz no aumento da produtividade das culturas e é utilizado em maior extensão do que todas as outras formas combinadas de corretivos, onde sua aproximada pureza varia de 75 a 99 %.

#### **4.4.3 Os óxidos, sua aplicação e características**

Segundo BRADY (1989) o óxido de cálcio comercial é, em geral, conhecido como cal viva, vige ou mesmo como óxido e é apresentado sob a forma de pó fino moído e é oferecido à venda normal em sacos plásticos ou de papel.

FURTINI NETO et al., 2004, diz que em termos práticos, a cal virgem agrícola representa o principal tipo de óxido usado na calagem. A cal virgem é

produzida mediante o aquecimento do calcário em grandes fornos comerciais, sendo o bióxido de carbono expelido, enquanto permanecem os óxidos impuros de cálcio e de magnésio (BRADY 1989), conforme mostra a reação:



A ação neutralizante dos óxidos se deve à reação [E.6], com a liberação de  $\text{OH}^-$  sendo imediata, dando o caráter de base forte do CaO e MgO

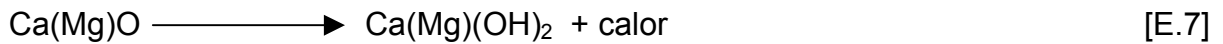


É variável a pureza da cal virgem vendida para finalidades agrícolas, oscilando entre 85 e 98 % e é considerado como valor médio satisfatório, sendo as impurezas da cal virgem as mesmas do calcário original (BRADY, 1989).

Segundo FURTINI NETO et al., (2004), apesar de ser corretivo de ação imediata, o que é vantajoso quando se deseja rápida neutralização, seu uso pode ser problemático, merecendo certos cuidados. O calor gerado pode danificar sementes, plântulas e microrganismos. Para evitar danos a semente e plantas, a cal precisa ser aplicada com certa antecedência. E, a completa mistura e reação do óxido com o solo pode ser dificultada, pois, logo após a aplicação, a água absorvida pode gerar a formação de grânulos endurecidos. Isso nada mais é do que uma capa de  $\text{Ca(Mg)CO}_3$ , retardando a reação.

#### 4.4.4 Os hidróxidos, sua aplicação e características

A hidratação da cal virgem (FURTINI NETO et al., 2004), os hidróxidos resultantes são denominados de cal hidratada ou cal extinta (BRADY, 1989), formada por  $\text{Ca(Mg)(OH)}_2$ , conforme a reação:

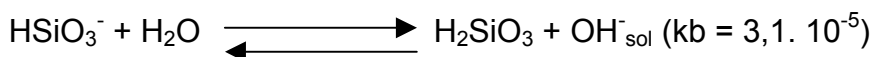
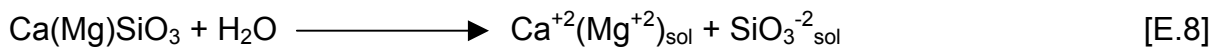


O hidróxido de cálcio é oferecido ao mercado sob a forma de pó branco, e empacotamento de papel (BRADY, 1989), ou plástico. BRADY, (1989) diz que as amostras representativas têm purezas de 95%, e é provável que ocorra carbonatação se houver contato com a umidade no ar.

A sua ação é imediata, pela dissolução do hidróxido. Apesar de ser menos cáustica, a cal hidratada é um fino pó branco de difícil e desagradável manuseio durante a aplicação no solo (FURTINI NETO et al., 2004).

#### 4.4.5 As escórias de siderurgia, aplicação e características

Alguns subprodutos da indústria de aço, contendo silicatos de cálcio e ou de magnésio, têm valor neutralizante. Sua ação neutralizante se deve ao efeito dos silicatos de Ca e Mg, além das seguintes reações (FURTINI NETO et al., 2004), muito semelhantes às do calcário:



#### 4.4.6 O N-Viro Soil, sua aplicação e características

A tecnologia de “Estabilização Alcalina Avançada com Subseqüente Secagem Acelerada” (Processo N-Viro), é utilizada em várias partes do mundo para transformar lodo de esgotos urbanos em produtos passíveis de reciclagem em sistemas agrícolas (N-VIRO, 2004).

BURNHAM et al. (1992), SLOAN e BASTA (1995), PIERZYNSKI e SCHWA, WEF citados por LUCCHESI (1997), YAMAKAWA (1999), citam para o tratamento

de bio sólidos humanos o processo conhecido como N-Viro. O qual já era utilizado em mais de 40 localidades nos EUA, Reino Unido, Canadá, Israel, China, África do Sul, Espanha, Finlândia e Austrália, processando mais de 1 milhão de ton por ano. Seu produto em razão de suas propriedades, tem sido utilizado como substituto para o calcário agrícola, como fertilizante e condicionador do solo.

O Processo N-Viro de bio sólidos é uma tecnologia patenteada pela N-Viro International Corporation de Toledo, Ohio, EUA (BURNHAM et al. 1992; LOGAN; HARRISON, 1995). Tal processo segundo BURNHAM et al. (1992), citado por PREISLER (2002), utiliza bio sólidos desaguados, provenientes de digestão aeróbia, anaeróbia ou “in natura”, com teor de sólidos entre 15-40%, aos quais são adicionados reagentes alcalinos (pó-de-forno de cimento, pó de forno de cal virgem e muitos outros resíduos alcalinos) como ingredientes únicos ou combinados. Uma das reações que tal processo de estabilização está embasado é a seguinte:



O CaO reage com água excedente dos bio sólidos produzindo o hidróxido de cálcio e calor, cujo pH de equilíbrio encontra-se acima de 12. A partir desta reação exotérmica, a temperatura é elevada, mantida e controlada entre 52°C e 62°C (SMITH et al. 1998, citados por YAMAKAWA, 1999), colaborando com a secagem do produto. Como resultado ocorrem diferentes estresses tais como: reação alcalina, secagem acelerada, altas temperaturas, liberação de amônia e presença de sais e a destruição de patógenos (salmonelas, polivírus, ovos de ascaris), apesar da reminiscência de aproximadamente  $10^6$  microorganismos por 5 gr de lodo seco (BURNHAM et al., 1992). Assim os lodos tratados mantêm-se livres de odor o assemelham-se a solos. Sendo, em razão de suas características classificado pela Agencia Americana de Proteção Ambiental (USEPA) consta-se na legislação (CFR 40 Part 503) como lodo Classe A. O processo ainda, segundo Logan (1998) citado por LUCCHESI (1997) e depois por PREISLER (2002), promove a imobilização de metais traços devido a sua precipitação com ligantes como OH,  $\text{CO}_3$ ,  $\text{SiO}_3$ ,  $\text{PO}_4$  e  $\text{SO}_4$  bem como, reações de complexação e adsorção nas superfícies minerais e da matéria orgânica (BURNHAM et al., 1992).

Existem duas alternativas para a estabilização de biossólidos pelo Processo N-Viro. Na primeira alternativa, os ingredientes alcalinos são misturados com os biossólidos de maneira a proporcionar pH igual ou maior que 12. Na segunda alternativa, a dose dos ingredientes alcalinos necessita ser suficiente para manter o pH da massa acima de 12 por pelo menos 72 horas. Simultaneamente, a temperatura necessita ser mantida em níveis superiores a 52°C por pelo menos 12 horas, já estabilizado e então seco a 50% de sólidos. A diferença básica entre as duas alternativas é a ocorrência de um pulso de calor (BURNHAM et al., 1992).

LOGAN e FAULMANN (1999) citam haver vários procedimentos para pasteurização de dejetos de suínos e aves pelo Processo N-Viro com o objetivo de destruir patógenos, reduzir odores e melhorar a qualidade do material. Os autores mencionam que o produto de tal procedimento pode atingir pH final para uso de 9,5 e teor sólido maior que 30%.

LOGAN E HARRISON (1995) ao analisarem 28 amostras de N-Viro Soil, observaram que as propriedades físicas do produto são similares a um solo de textura média a fina, poroso, granular e de consistência não plástica, que pode ser facilmente planejado e armazenado em propriedades agrícolas. Em razão das suas características químicas, é efetivo como calcário agrícola (SLOAN; BASTA, 1995), podendo ser utilizado como substituto do mesmo e como fertilizante de baixo teor de nutrientes (N-VIRO, 2002a).

Assim sendo, a sua aplicação em projetos de revegetação, cobertura de aterros sanitários, recuperação de solo ácido e para fins agrícolas propriamente ditos, é citado como usual, particularmente nos EUA (BURNHAM et al., 1992).

Quanto as características químicas do N-Viro Soil (NVS), LOGAN e HARRISON (1995), ao analisarem 28 amostras de N-Viro Soil oriundas de várias estações de tratamento localizadas em diversos países obtiveram pH entre 7,2 e 12 e média de 11,9. Segundo os autores, tal pH é função do controle exercido pelo  $\text{Ca(OH)}_2$  presente naqueles materiais. Por sua vez, segundo YAMAKAWA (1999), o pH controla mecanismos de disponibilização de muitos elementos, tais como absorção, desorção, precipitação, dissolução e complexação com a matéria orgânica.

YAMAKAWA (1999) ao testar diferentes N-Viro soil produzidos a partir de biossólidos humanos digeridos anaerobicamente e tratados com cinzas de carvão

(NVS1) comparando à um cru e tratado com pó de forno de cimento (NVS2), obteve extratos com pH maior que 12, que assim permaneceu por 2 meses. No entanto, o pH dos extratos com o tempo reduziu-se para 8, a medida que o  $\text{Ca(OH)}_2$  transformou-se em  $\text{CaCO}_3$  através de carbonatação, conforme a seguinte reação:



Neste experimento, citado por YAMAKAWA (1999), o pH do NVS2 manteve-se alto por 2 meses e mais do que o NVS1. Tais resultados poderiam ser explicados pelo fato do teor de  $\text{Ca(OH)}_2$  enquanto maior que 2%, favoreceu a manutenção do pH ao redor de 12, mas quando tal composto decresce abaixo de 2%, o pH também rapidamente decresceria para 8.

#### 4.5 MÉTODOS PARA SE DETERMINAR A DOSE DE CORRETIVOS

Segundo MONTE SERRAT & OLIVEIRA (2003), a adubação e a calagem visam manter o equilíbrio nutricional das plantas ao longo de seu desenvolvimento. Dessa forma, a recomendação para correção ou manutenção da fertilidade do solo exige conhecimentos tanto das exigências nutricionais da planta quanto do potencial produtivo do solo, sempre considerando suas características químicas, físicas e biológicas. Esses aspectos concorrem para uma maior eficiência do fertilizante aplicado e conseqüentemente para um melhor rendimento das culturas e das espécies florestais.

O método do tampão SMP, na forma atualmente empregada nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (SIQUEIRA et al., 1987), permite determinar a necessidade de calagem para elevar o pH do solo a 6,5, 6,0 ou 5,5.

RAIJ (1991) diz que a vantagem principal do procedimento é que a necessidade de calagem pode ser obtida somente das medidas de pH do solo e do pH SMP. Com a introdução recente de três alternativas de pH (SIQUEIRA et al., 1987), ao invés de uma só, como era feito anteriormente, o procedimento adquiriu

flexibilidade para o ajuste das recomendações de calagem às necessidades variáveis de diferentes culturas.

O método SMP é atualmente empregado nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, permitindo determinar a necessidade de calagem diretamente através de uma tabela. Este é o resultado de uma curva que relaciona a necessidade de calagem com pH da suspensão do solo com tampão SMP. A vantagem principal deste método é que a necessidade de calagem pode ser obtida somente das medidas de pH desejado do solo e do pH SMP. Procura-se através deste método atingir um pH 6,0 em água para a maioria das culturas (1:1, relação solo:água) (LIMA et al, 2003).

GOEDERT (1995), diz que o método SMP, bastante difundido no Sul do País, tem como princípio o decréscimo do pH de uma solução-tampão (solução que resiste à mudança de pH) após o equilíbrio com o solo, tendo o valor do pH SMP, utiliza-se uma tabela ou função para estimar a necessidade de calagem, sendo esta tabela ou função devendo ser obtida em cada região, pois os dados obtidos numa região podem subestimar ou superestimar a necessidade real de calcário em outra região.

O alumínio trocável também é um método que pode ser utilizado na avaliação da necessidade de calagem, visto que este elemento é reconhecidamente o mais limitante ao crescimento de raízes e produtividade em solo com pH menor que 4,8 em Cloreto de Cálcio a 0,01 Molar ( $\text{CaCl}_2$  0,01M). Por cálculos de equivalência, é possível chegar-se ao valor de 1 ton de  $\text{CaCO}_3 \text{ ha}^{-1}$  (considerando calcário PRNT de 100% e solo na profundidade de 20 cm) para corrigir 1  $\text{cmol}_c \text{ Al/dm}^3$  de solo. Todavia, em termos experimentais, observou-se a necessidade de adição de 1,5 a 2 vezes mais  $\text{CaCO}_3$  para que ocorra a efetiva neutralização do Al nos solos, com elevação do pH a valores próximos a 5,4 em  $\text{CaCl}_2$  0,01M. Tal fato pode estar relacionado a correção dos demais componentes que compõem o poder tampão. Com isso, embora muitos pesquisadores considerem este método empírico, ele poderá ser utilizados em culturas pouco sensíveis à acidez, com relativo sucesso (LIMA et al, 2003).

O valor da Saturação de Bases (V%), calculado com base na Capacidade de Troca de Cátions (CTC) a pH 7, podem também ser utilizado no cálculo da necessidade de calagem. Diferente em relação ao método do Al, o método do V%

permite o cálculo de quantos  $\text{cmol}_c (\text{H} + \text{Al})/\text{dm}^3$  de solo, devem ser corrigidos para atingir-se um V% desejado. Assim como foi apresentado para o método do Al, a neutralização de 1  $\text{cmol}_c (\text{H} + \text{Al})/\text{dm}^3$  de solo, requer cerca de 1 ton de  $\text{CaCO}_3$  (100% Poder Relativo de Neutralização Total - PRNT). Logo, o valor de 1  $\text{cmol}_c (\text{H} + \text{Al})/\text{dm}^3$  de solo a ser neutralizado pode ser diretamente expresso em ton de  $\text{CaCO}_3$  (100% PRNT) (LIMA et al, 2003).

Com base na relação entre pH e V % é possível observar que o pH almejado por este método fica entre 5,3 a 5,5, visto que a maioria das culturas comerciais requerem um V de aproximadamente 70 %. Tais valores de pH esperados ficam muito acima do valor de 4,8 visado pelo método do Al (LIMA et al, 2003).

Embora utilizem diferentes técnicas na determinação a necessidade de calagem, os métodos de pH SMP e V %, tem como objetivo atingir valores bem próximos de pH no solo, 5,5 em  $\text{CaCl}_2$  0,01M e 6,0 em água, ou equivalente 5,4  $\text{CaCl}_2$  0,01M (6,0 – 0,6), respectivamente (LIMA et al, 2003).

#### **4.5.1 Os primeiros métodos e a interpretação dos valores analíticos**

O objetivo principal da análise de solo é a determinação do grau de suficiência ou deficiência de nutrientes no solo, ou condições adversas (acidez, salinidade) que possam prejudicar as plantas. A dificuldade encontra-se na adoção de métodos que permita esta determinação de forma precisa e reproduzível. Isto ocorre devido a existência de vários fatores que podem interferir na disponibilidade dos nutrientes no solo. Esta disponibilidade irá depender de interações entre o solo e a planta e irá variar, certamente, sob diferentes condições de solo e em função das diferentes exigências nutricionais por parte das plantas. A solução encontrada para este problema tem sido a seleção de métodos que apresentem correlação com o desenvolvimento das plantas e/ou com os teores de nutrientes nos tecidos foliares (MARQUES & MOTTA, 2003).

Ainda os mesmos autores dizem que no Brasil, várias metodologias são utilizadas para caracterizar os solos para fins de fertilidade. Na região sul, as seguintes têm sido adotadas a) EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA (1997), usada mais especificamente para fins de levantamento e classificação de solos; b) RAIJ e QUAGGIO (1983), usada no Estado



de São Paulo e também por alguns laboratórios no Paraná; c) TEDESCO et al. (1995), usada no Rio Grande do Sul e Santa Catarina e d) PAVAN et al. (1992), no Estado do Paraná. Os métodos apresentam, entre si, determinações semelhantes e/ou distintas, dependendo do elemento químico que esteja sendo caracterizado. Desta forma, as interpretações devem ser de acordo com as metodologias empregada.

Os parâmetros que envolvem acidez e alcalinidade são de grande utilidade no estabelecimento das características dos solos, visto que as propriedades físicas, químicas e biológicas estão direta ou indiretamente associadas com acidez ou alcalinidade. Explorando dois casos extremos: solos com pH maior que 8 geralmente têm problemas com salinidade, dispersão do solo, deficiência de Fé e outros. No extremo oposto, valores de pH abaixo de 3 podem indicar a presença de solo tiomórfico recém drenado, onde poucas plantas podem sobreviver. Problemas associados com alcalinidade e pH extremamente baixo estão restritos a uma pequena área do território brasileiro: às regiões semi-áridas e pequenas manchas de solo no litoral, respectivamente. Contudo, o mais importante em regiões tropicaid são problemas relativos à acidez do solo representada por valores abaixo da faixa de pH entre 5 e 6,5, a qual é requerida para a maioria das culturas melhoradas. Assim, necessitamos medir a acidez do solo e o poder tampão do mesmo, com a finalidade de fazer as correções necessárias (MARQUES & MOTTA, 2003).

O desenvolvimento de métodos quantitativos para estimar a necessidade de calagem de solos tem sido objeto de estudo desde o ano de 1900. Inicialmente foram empregados métodos químicos qualitativos, usando indicadores colorimétricos. O método de WHEELER et al. (1900), que empregava papel tornassol, e o método de Veitch (1902, 1904), que envolvia equilíbrio do solo com  $\text{Ca(OH)}_2$  e titulação com fenolftaleína até a cor rosa, são talvez os primeiros métodos quantitativos sobre o assunto (McLEAN et al. 1966; SPARKS, 1995) e foram propostos em uma época em que a unidade química pH ainda não havia sido definida. Um processo importante e resultante dos trabalhos de Veitch (1904), mas não reconhecido na época, foi a constatação de que a acidez trocada por NaCl 1 mol/L era  $\text{AlCl}_3$  e não HCl (SPARKS, 1995). Posteriormente muitos trabalhos relacionando Al com acidez foram desenvolvidos. Segundo THOMAS (1977), em termos históricos, no entanto, o início dos estudos da acidez em solos deve ser

reportado ao livro de Sir Humphry Davy, *“Elements of Agricultural Chemistry”*, publicado em 1813, na Inglaterra, em que constava um método para determinar o teor de  $\text{CaCO}_3$  em solos. Nos EUA, Edmund Ruffin usou esse método e, em função dos seus estudos, é considerado o pioneiro em aplicar calcário para o objetivo certo – neutralizar a acidez do solo –, e seu livro, *“An Essay on Calcareous Manure”*, publicado em 1832, é considerado o primeiro relato científico sobre solos e plantas cultivadas, definindo inclusive o termo “solo agrícola” (SIMONSON, 1968). Em razão disso, Emil Truog (University of Wisconsin, Madison, EUA), em 1938, redescobriu os trabalhos de Ruffin, considerou-o “o pai da química de solo na América” (THOMAS, 1977). Mas, em realidade, os gregos e os romanos já praticavam a calagem há mais de 3 mil anos.

Com base em várias citações de PIERRE (1931), pode-se concluir que foi na década de 20 que foram iniciados os estudos relacionados com Al e o desenvolvimento de plantas em solos ácidos, verificando-se que havia estreita relação entre o teor de Al trocável e o pH do solo (PEARSON, 1975). Já os estudos envolvendo teorias sobre as reações do Al no solo foram iniciados por volta do ano de 1900 nos EUA (Veitch) e no Japão (Daikuhara), segundo JENNY (1961) e JACKSON (1963).

Durante a primeira Reunião Brasileira de Ciência do Solo, realizada no Rio de Janeiro, RJ, de 6 a 20 de outubro de 1947, PAIVA NETO et al. (1950), RAMOS & KEHRING (1950) e MOHR (1950) apresentaram importantes trabalhos sobre métodos de análise de solo. Em termos cronológicos, é importante destacar que o Primeiro Congresso Brasileiro de Ciência do Solo havia ocorrido há 20 anos, em Washington, DC, EUA, de 13 a 20 de junho de 1927.

Segundo MOHR (1950), o Laboratório de Química Agrícola da Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul, fundado em 1929, realizava, em 1947, 12 análises de solo, a saber: textura, N total, C, P total, Ca trocável, K assimilável, valor S (soma de bases), valor T (capacidade de troca de cátions), acidez trocável (Al trocável, ou acidez nociva), pH no extrato aquoso e pH no extrato com KCl 1 mol/L. O índice de saturação de bases era calculado pelo fator Hissink.

Para fazer interpretação dos valores analíticos, MOHR (1950) dividiu o Estado do Rio Grande do Sul em quatro regiões fisiográficas, tendo sido estabelecidos valores de referencia diferentes para cada região: planalto norte (solos

derivados de basalto), região sedimentar central (arenito Botucatu), escudo sul-rio-grandense (solos derivados de rochas graníticas) e região da planície costeira (areias e sedimentos recentes). Os valores obtidos nas análises eram comparados com os valores de referência para cada região e, então, era estabelecida uma “recomendação descritiva” para cada solo, como, por exemplo, “o emprego de cal neutralizante se recomenda”. Não há referência quanto ao método de cálculo da dose de calcário; tampouco era indicada a quantidade a aplicar, algo que era atribuição do agrônomo local e não do laboratório.

Os métodos usados no Instituto Agrônomo de Campinas foram apresentados na Primeira Reunião Brasileira de Ciência do Solo por PAIVA NETO (1950), mas já havia sido publicados, em primeira versão, em 1946. Essas análises incluíam: pH em água, pH em KCl, C, N,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , Ca, Mg, K, P, H e Al. A exemplo de MOHR (1950), os procedimentos apresentados por PAIVA NETO et al. (1950) não objetivaram especificamente interpretar os resultados para fins de avaliação da fertilidade do solo e nem continham referência ao método para estimar a necessidade de calagem. Já o método proposto por CATANI & GALLO (1955) para o Estado de São Paulo visava especificamente uma recomendação de calagem, sendo baseada na determinação do pH do solo e do teor de  $\text{H}^+$  trocável, e empregava a relação entre o pH do solo e a percentagem de saturação de bases como referência. Como o pH em água varia em função de vários fatores, esse método não era muito preciso.

Os métodos usados no Instituto de Química Agrícola, Rio de Janeiro (Km 47), foram apresentados na Primeira Reunião Brasileira de Ciência do Solo por RAMOS & KEHRIG (1950), compreendendo 20 determinações empregadas para a descrição de perfis de solos.

É muito provável que os trabalhos de PAIVA NETO et al. (1950), de RAMOS & KEHRIG (1950) e de MOHR (1950) tenham sido os pontos de partida do estudo analítico da fertilidade do solo no Brasil. Alguns dos procedimentos usados na época foram os precursores dos métodos de determinação da necessidade de calagem adotados posteriormente, como é o caso do teor de Al trocável. Neste sentido, a Primeira Reunião Brasileira de Ciência do Solo foi muito importante para a discussão e o avanço da ciência do solo no país.

Na descrição dos métodos adotados no Rio Grande do Sul e publicados por MOHR (1950), não é feita referência á forma de estimar a necessidade de calagem (NC). Porém, cerca de 10 anos após, MOHR (1960) recomendava que se usasse o teor de Al trocável (em KCl 1 mol/L), empregando o “fator de calagem” igual a 1, ou seja,  $NC \text{ (t/ha)} = \text{Al trocável} \times 1$ , considerando o peso de 1 ha igual a 2.000 ton. Contudo 35 anos antes, UCHOA (1925) já havia proposto o mesmo procedimento para os solos do Rio Grande do Sul, empregando  $KNO_3$  como extrator da acidez e titulação com NaOH, indicando que este método mantinha estreita relação com o teor de Al ativo e refletia os resultados obtidos sob condições de campo. Segundo VIANNA (1972), usou-se, posteriormente,  $NC = \text{Al trocável} \times 1,33$  (CATE, 1965), verificando que a dose era baixa em relação à resposta das culturas. Passou-se a adotar, então,  $NC = \text{Al trocável} \times 2$ ; as culturas ainda respondiam a doses maiores, mas a dose máxima era limitada a 2 t/ha. Optou-se, então, pela fórmula  $NC = \text{Al trocável} \times 2,5$  quando não se dispunha o valor de pH SMP.

Considerando que 1 ha apresenta 2.000 m<sup>3</sup> de solo, estequiometricamente, 1 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> (= 1 meq/100g se a densidade do solo for de 1 g/cm<sup>3</sup>) é igual a 1 ton  $CaCO_3$  por ha (ou de  $CO_3^{2-}$ ) pesa 50 mg de  $CaCO_3$ . Ou seja, se o solo contem 1 meq de carga/100 g, que equivale à demanda de 50 mg  $CaCO_3$ /100 g de solo, serão necessários 1.000 kg  $CaCO_3$ /ha de solo. No entanto, tem se verificado que o fator de calagem (ou equivalência de  $CaCO_3$ ), para cada cmol<sub>c</sub> Al/dm<sup>3</sup>, varia entre 1,5 e 3,3, com a maioria dos valores oscilando entre 1,5 e 2,0 cuja razão reside no consumo de OH<sup>-</sup> pelos íons de H<sup>+</sup> pH-dependentes que se formam à medida que aumenta o pH (KAMPRATH, 1984).

#### **4.5.2 Métodos que utilizam soluções tamponadas**

Um breve histórico acerca do desenvolvimento dos métodos de determinação da necessidade de calcário foi relatada por PEECH & BRADFIELD (1948). Segundo os autores, dentre os métodos envolvendo o uso de hidróxidos, Veitch em 1902, utilizava o hidróxido de cálcio e fenolftaleína na determinação do hidrogênio trocável, encontrando altos valores para o mesmo pelo fato de que o pH do ponto de viragem do indicador era muito elevado. Dun, em 1943 empregando o

mesmo reagente, utilizou titulação potenciométrica com eletrodos de vidro na medição da acidez. Hopkins utilizou um sal de ácido forte, o  $\text{KNO}_3$ , entretanto este sal não deslocava todo o hidrogênio trocável, e os resultados obtidos para o mesmo eram baixos.

Referem ainda que um método envolvendo o uso de acetato de cálcio foi descrito por Jones, em 1913, mas não evidenciava bons resultados em solos muito ácidos. Schofield, em 1933, propôs a utilização de uma solução de paranitrofenol, parcialmente neutralizado pelo hidróxido de cálcio, para a determinação do hidrogênio trocável. Entretanto, os resultados obtidos eram mais baixos do que os obtidos pelo método proposto por Mehlich, em 1938, que utilizava uma solução tampão de trietanolamina juntamente com acetato de bário.

BROWN (1943) propôs um método para determinação do hidrogênio trocável, baseado na deflexão produzida no pH de uma solução tamponada de acetato de amônio 1N a pH 7,0 quando da mistura do solo com a solução. A acidez a ser neutralizada era obtida através do pH de equilíbrio de uma suspensão solo tampão na solução 1:10, sendo conhecida a curva de titulação potenciométrica do tampão com ácido acético. Apresentava entretanto o inconveniente de produzir uma deflexão muito pouco acentuada no pH da suspensão, em virtude do alto poder tamponante da solução empregada.

Mais tarde WOODRUFF (1948), baseado no trabalho de BROWN (1943), substituiu a solução tampão de acetato de amônio por uma solução contendo paranitrofenol, óxido de magnésio e acetato de cálcio tamponada a pH 7,0. A depressão produzida no pH da solução tampão quando da mistura com o solo era linear até pH 6,0, e para cada 0,1 unidade de decréscimo no pH da suspensão, eram necessários 1 e.mg  $\text{CaCO}_3$ /100g de solo para neutralizar a acidez e elevar o pH do solo a uma faixa entre 6,0 a 6,5.

No entretanto Mc LEAN et al, citados por SHOEMAKER et al (1961) observaram que o método tampão de WOODRUFF (1948) não fornecia boa indicação da necessidade de calcário para elevar o pH de certos solos de Ohio a um nível adequado ao desenvolvimento das plantas. Maior discrepância ocorria em solos com mais alto teor de alumínio trocável presente.

Com base nestas observações SHOEMAKER et al (1961) desenvolveram um novo método tampão, conhecido como SMP, que utiliza, além do paranitrofenol e

acetato de cálcio, cromato de potássio, trietanolamina e cloreto de cálcio, ajustados a pH 7,5. Esta solução produzia, quando em contato com o solo, uma depressão linear muito próxima no pH com o decréscimo da acidez do solo. Os autores relatam que embora o poder tamponante desta solução seja mais fraco do que a solução empregada por Mehlich e Woodruff, por outro lado faz com que a mudança no pH ocorra rapidamente quando os ácidos do solo reagem com ela, e a amplitude de valores obtida seja mais ampla (4,8 a 6,8 aproximadamente).

PEECH et al (1962) modificaram o método originalmente proposto por Mehlich, em 1938, utilizando uma solução mais diluída de trietanolamina e cloreto de bário, porém utilizando ainda a titulação como forma de medida da acidez.

Uma forma simplificada deste método, destinada a determinação de necessidade de calcário dos solos ácidos foi mais tarde descrita pelo mesmo autor (PEECH, 1965a).

VETTORI (1948) descreve um método de determinação da necessidade de calcário dos solos baseado no uso de uma solução de acetato de cálcio 1N, tamponada a pH 7,0. A quantidade de calcário a ser utilizada seria equivalente ao valor necessário para neutralizar a acidez extraída por esta solução. Atualmente 10g de solos são agitados com 150ml da solução citada, sendo a determinação do H+Al extraído feita por titulação com NaOH. Os valores obtidos são acrescidos em 10%, para compensar supostas deficiências na extração (VETTORI, 1969).

Outro método utilizando solução tamponada foi descrito por ADAMS & EVANS (1962), e testado para solos do Alabama (EUA), de baixa CTC. A solução consistia de uma mistura de paranitrofenol, ácido bórico, cloreto de potássio e hidróxido de potássio, tamponado a pH  $8,0 \pm 0,1$ . Os autores encontraram alta correlação entre os valores de acidez obtidos pelo tampão, quando comparados com a acidez trocável obtida pelo  $\text{NH}_4\text{OAC}$  1N, tomado como padrão. Ótimos resultados foram obtidos quando compararam a necessidade de calcário recomendado pelo método proposto com a necessidade calculada para levar o solo a uma insaturação de bases (base insaturation) de 25%, que corresponderia aproximadamente a um pH em água de 6,5. Variações entre os dois métodos resultaram numa diferença de recomendação menor do que 2.250 kg/ha em 97% das amostras estudadas.

YUAN (1974) propôs um método de recomendação de calagem, baseado no conceito de duplo tampão. Propôs a utilização de duas soluções tamponadas, de mesma concentração, consistindo de tris, imidazol,  $K_2CrO_4$ , piridina e cloreto de cálcio, uma tamponada a pH 7,0 e outra a pH 6,0, como forma de medir a acidez. Para cada 0,1 e.mg de ácido que reage com as soluções ocorre a redução de 0,1 unidades de pH. Determina-se a capacidade tampão dos solos ( $\alpha$ ) pela equação:

$$\alpha = (d1 - d2) / (h1 - h2) \quad [E.11]$$

onde:

O d1 e d2 são valores da acidez determinados pelos decréscimo do pH das suspensões em contato com os tampões a pH 7,0 e 6,0, e h1 e h2 são valores do pH de equilíbrio dos mesmos tampões.

A necessidade de calcário é determinada pela equação:

$$\text{Necessidade de Calcário} - NC = d1 + \alpha (h1 - h2) \quad [E.12]$$

Onde:

O h constitui o valor de pH desejado.

O método proposto, testado em 20 solos arenosos da Flórida (EUA), mostrou que as quantidades recomendadas foram altamente correlacionadas e comparáveis com as obtidas pelo método de Mehlich, de 1948 e com a incubação com  $Ca(OH)_2$ .

#### **4.5.3 Método do alumínio trocável**

A utilização dos valores de alumínio trocável obtidos pela extração com solução de sais não tamponados como critério para determinação da necessidade de calcário dos solos, teve divulgação a partir do trabalho de COLEMAN et al (1958), ao qual seguem-se os de KAMPRATH (1970).

O método preconiza que a quantidade de calcário a ser adicionada deve ser suficiente para neutralizar o alumínio trocável extraído com KCl (KAMPRATH, 1970).

Os valores de alumínio trocável, assim obtidos, são multiplicados por um fator, que varia de 1 a 3, dando a indicação da quantidade de calcário a ser aplicada no solo (SOUSA et al, 1980). Trabalhos realizados por FREITAS et al (1968) e TOBON & LEON (1971), mostraram que as quantidades de calcário recomendadas por esse método são pouco efetivas para atingir-se um pH preestabelecido, sendo porém eficaz na redução do teor de Al trocável a níveis não tóxicos. KAMPRATH (1970) sugere o emprego do fator 1,5 para atingir uma saturação com alumínio igual, ou inferior a 15% nos solos testados (Oxissol e Ultissol). Admite ainda que um fator 2 poderá ser utilizado para culturas mais sensíveis ao alumínio trocável.

A difusão deste método no país ocorreu a partir da divulgação do Programa Internacional de Análise de Solo (CATE, 1965) onde a quantidade de corretivo indicada era:  $1,5 \times e.mg \text{ Al}^{3+}/100g \text{ TFSA} = t \text{ CaCO}_3/\text{ha}$ . A partir de então o método sofreu várias adaptações e modificações, porém constitui-se ainda num dos principais métodos de recomendação de calagem no Brasil.

Também ressalta-se o método de determinação através de solução de  $\text{CaCl}_2$  por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo: $\text{CaCl}_2$  numa relação 1:2,5, conforme metodologia citado em EMBRAPA (1997).

O efeito de sais solúveis, onde a presença de sais como NaCl,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , entre outros, fazem com que o pH medido seja inferior ao real. Para minimizar este efeito se pode substituir a água por uma solução salina como extrator para os solos. A utilização de soluções mascara o efeito da presença de quantidades diferenciadas de sais nas amostras, porém, encontrar-se-á um valor de pH inferior ao encontrado com água, na ordem de 0,5 a 1,0 unidade menor, quando se utiliza o  $\text{CaCl}_2$  0,05 mol  $\text{L}^{-1}$  (LUCHESE et al., 2002).

#### **4.5.4 Método de saturação de bases do solo**

Um dos mais antigos métodos de recomendação de calcário empregados no país foi proposto por CATANI & GALLO (1955) e utilizava a relação entre o pH e a saturação de bases do solo. Trabalhando com 85 amostras do estado de São Paulo, os autores obtiveram a relação entre estas duas variáveis, dada pela equação:  $\text{pH} = 0,03176 \text{ V\%} + 4,288$ , com  $r = 0,947$ , tornando possível determinar o valor V% da



amostra apenas pela leitura do pH em água da mesma. Admitindo-se portanto, com base na equação proposta, uma saturação de bases de 70% como a ideal para se atingir um pH 6,5, e conhecendo -se também a acidez potencial ( $H^0 + Al^{3+}$ ) extraída com acetato de cálcio 1N a pH 7,0, é possível determinar a quantidade de calcário a ser aplicada a partir da seguinte equação:

$$NC = \frac{H (V_2 - V_1)}{100 - V_1} = t \text{ CaCO}_3/\text{ha} \quad [E.13]$$

onde:

H= e.mg H / 100g TFSA, obtido por extração com acetato de cálcio 1N, a pH 7,0.

$V_2$  = Saturação de base para atingir um pH de 6,5 (70%).

$V_1$  = Saturação de bases atual do solo obtida da leitura do pH e fazendo a conversão na equação ou na tabela.

Trabalhos posteriores realizados por RAIJ et al (1968) mostraram entretanto relação diferente entre o pH x saturação de bases para solos de mesmo estado, o que levou CATANI & ALONSE (1969) a considerar a elevação do valor V a 85%, como mais adequado para se atingir um pH 6,5, quando testou o método proposto.

Nas recomendações de calagem de rotina, o método de CATANI & GALLO (1955), apresenta como principal desvantagem o fato de exigir a determinação da acidez potencial, que é feita por titulação. Entretanto RAIJ et al (1979) mostram a possibilidade de determinar esta acidez a partir de leituras potenciométricas do pH de equilíbrio da solução tampão SMP com solo, pois observaram excelente correlação entre os valores de pH da suspensão solo:água:tampão SMP (pH SMP) e os valores de ( $H^0 + Al^{3+}$ ) obtidos pelo método do acetato de cálcio em solos do estado de São Paulo. QUAGGIO & RAIJ (1982) citados por QUAGGIO (1983b), num trabalho posterior, trabalharam com uma população de solos mais ampla daquele estado e obtiveram nova correlação neste sentido, que permite a obtenção de valores de ( $H^0 + Al^{3+}$ ) de até 30 e.mg/100cm<sup>3</sup> de terra apenas pela leitura do pH SMP. Deste modo, a necessidade de calcário pode ser obtida pela equação:

$$NC (t \text{ CaCO}_3/\text{ha}) = CTC \frac{(V_2 - V_1)}{100}, \quad [E.14]$$

onde:

NC = necessidade de calcário

CTC = capacidade de troca de cátions, obtida da soma das bases trocáveis, acrescida do teor de ( $H^0 + Al^{3+}$ ) obtidos pela leitura do pH SMP.

$$V_1 = \frac{\text{saturação de bases atual do solo, obtida de } S \times 100}{CTC}$$

$V_2$  = saturação de bases desejada.

#### 4.5.5 Incubação

Um método que embora seja reconhecido como muito eficiente, é pouco utilizado em laboratórios de análise de solos pela sua característica em ser demasiadamente demorado para obtenção dos resultados, tornando-se inviável economicamente.

Para determinações de quantitativos de calcário é muito utilizado em trabalhos científicos, sendo citado por vários autores, como VETTORI, (1966), que afirma que a incubação de amostras substanciais (500 a 1000 gr) com diferentes quantidades de calcário até se completar o equilíbrio produz uma curva na qual a necessidade de cal pode ser determinada para qualquer pH.

RAIJ (1991), diz que se a vários solos forem adicionadas doses crescentes de  $CaCO_3$  e for medido o pH resultante após algum tempo de incubação, são obtidas curvas de neutralização, salientando que os solos diferem nas necessidades de  $CaCO_3$ , para que seja obtido um mesmo valor de pH.

Segundo VETTORI (1966), este método tem sido usado como padrão para calibrar métodos mais rápidos porém mais empíricos. Descreve ainda que para estimar as quantidades de  $CaCO_3$  a serem adicionadas, determina-se a acidez do solo por meio de solução de  $BaCl_2$  contendo triethanolamina para tamponizar a solução em pH 8,0. Em seguida adiciona-se às amostras a serem incubadas  $CaCO_3$  equivalentes a 0, 0,1, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 e 1,0 vezes a acidez determinada.

#### 4.5.6 Métodos usados atualmente

Um passo importante no desenvolvimento de métodos foi dado por SHOEMAKER et al. (1961) com o método da solução tamponada SMP, que despertou atenção pela alta correlação ( $r = 0,949$ ) obtida entre o índice SPM e a necessidade de calagem determinada em estudo de incubação (KEENEY & COREY, 1963). Posteriormente, os trabalhos de KAMPRATH (1970) e de REEVE & SUMNER (1970) demonstraram a importância do Al trocável para o desenvolvimento das plantas e o Al trocável foi adotado como índice de campo para estabelecer a necessidade de calagem em solos intemperizados, passando esse método a ser empregado em quase todo o país em 1965 (CATE, 1965; RAIJ et al. 1983), exceto nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina e nas regiões semi-áridas (que usam o teor de Ca + Mg para 2 ou 3 cmol<sub>d</sub>/dm<sup>3</sup>, pois esses solos em geral não apresentam Al, segundo OLMOS & CAMARGO, 1976).

A Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (ROLAS) foi criada em 1968 e adotou, desde sua fundação, o método da solução SMP tamponada a pH 7,5 (TEDESCO et al. 1994), cuja sigla provém das iniciais dos autores (SHOEMAKER et al. 1961), modificado por Wayne R. Kussow (MIELNICZUK et al., 1969). A modificação introduzida por Wayne R. Kussow (University of Wisconsin, Madison, WI, EUA) para a qual não há registros escritos, consistiu na alteração da concentração dos seguintes reagentes: p-nitrofenol, trietanolamina, cromato de potássio e cloreto de cálcio; a concentração de acetato de cálcio foi mantida. Segundo MURDOCK et al. (1969), esse procedimento foi adotado por ser de fácil execução e por apresentar resultados consistentes em solos com elevados teores de Al, algo que foi confirmado posteriormente em muitas regiões do país (SOUSA et al., 1980).

Até 1968, o laboratório do Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuárias do Sul (IPEAS) empregava o método do AL para determinar a necessidade de calagem e o método de Mehlich-I para determinar a disponibilidade de P (que eram os métodos oficiais dos laboratórios das instituições de pesquisa do Ministério da Agricultura), e o laboratório da UFRGS usava o método SMP e o método de Bray para P e K, que exigia filtragem. Visando uniformizar as técnicas de

análise em todo o estado do Rio Grande do Sul, o laboratório do IPEAS passou a adotar o método SMP para determinar a necessidade de calagem, e o laboratório da UFRGS adotou o método de Mehlich-I, cujo método dispensa filtração.

Os laboratórios do Estado de Santa Catarina passaram a fazer parte da ROLAS em 1972 (TEDESCO et al., 1994), porém usaram desde 1963 até janeiro de 1970 o teor de Al x 1,0 a 1,5, variando o fator de calagem de acordo com os teores de matéria orgânica e da textura do solo, conforme preconizado por VAGELER (1956, 1965). A partir de 1970 houve uma reformulação geral no Laboratório de Química Agrícola e industrial da Secretaria da Agricultura, localizado em Florianópolis, que se adaptou a orientação dos procedimentos analíticos do Projeto Internacional de Avaliação e Melhoramento da Fertilidade do Solo (1965), passando a usar o método SMP para avaliar a necessidade de calagem.

Inicialmente, a recomendação feita pelo método SMP para os solos do Estado do Rio Grande do Sul objetivava elevar o pH em água a 6,5, a exemplo do que previa o método de CATANI e GALLO (1955) para os solos do Estado de São Paulo, cuja ideia básica, segundo VIETS (1977), surgiu na década de 40, em que se supunha que todos os solos deveriam ser corrigidos para um pH próximo a 6,5. Em 1971, foram introduzidas recomendações diferenciadas para alguns solos da fronteira sul do Estado de RS e para a cultura de alfafa (BARTZ, 1993). Em julho de 1973, em decorrência da menor resposta das culturas à calagem do que esperado e, por razões econômicas, passou-se a adotar, para a maioria das culturas do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, a dose de calcário para o solo atingir pH em água igual a 6,0 (REUNIÃO..., 1973) e, a partir de 1987, adotou-se uma tabela de necessidade de calcário para elevar o pH do solo em água para 5,5, 6,0 e 6,5 (KAMINSKI & BOHNEN, 1977; SIQUEIRA et al., 1987; REDE..., 1989), bem como, opcionalmente para solos pouco tamponados (arenosos), equação que permitem calcular a necessidade de calagem (NC, t/ha) em função do teor de Al (cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>) e da matéria orgânica (MO, %) quando o pH em água é inferior ao desejado e o método SMP não prevê necessidade de calagem (REDE..., 1994):

$$\text{para pH 5,5: NC} = -0,653 + 0,480\text{MO} + 1,937\text{Al} \quad [\text{E.15}]$$

$$\text{para pH 6,0: NC} = -0,516 + 0,805\text{MO} + 2,435\text{Al} \quad [\text{E.16}]$$

$$\text{para pH 6,5: NC} = -0,122 + 1,193\text{MO} + 2,713\text{Al} \quad [\text{E.17}]$$

Essas equações auxiliam também no controle de qualidades das análises, pois a NC pelo método SMP pode ser comparada com as Equações [E.15], [E.16] e [E.17] e, havendo valores discrepantes entre os dois procedimentos, as análises podem ser repetidas. Conveniente também é calcular a média dos dois procedimentos e adotá-la como dose de calcário a aplicar. Nas equações [E.15], [E.16] e [E.17], é interessante observar que a contribuição do Al é cerca de 2,3 (para pH 6,5) a 4,0 (para pH 5,5) vezes maior que a matéria orgânica no cálculo da necessidade de calagem.

Com a crescente adoção do sistema plantio direto e a constatação de não haver resposta das culturas em pH superior a 5,5, adotou-se, a partir do ano 2000, no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, a prática da calagem para elevar o pH do solo somente até 5,5 e 60 de V% para a maioria das culturas, amostrando o solo da camada superficial de 0 a 10 cm.

#### **4.5.7 Determinação da acidez potencial pelo método do pH SMP**

O valor de  $H^+ + Al^{3+}$ , também chamado de acidez potencial é constituído de duas partes distintas da acidez dos solos: acidez trocável ( $Al^{3+}$ ) e acidez não trocável ( $H^+$ ). O método de referencia para extração da acidez potencial dos solos é o da solução de acetato de cálcio 1N a pH 7,0. Este método apresenta contudo alguns problemas relacionados com a formação de fungos na solução estocada (RAIJ e QUAGGIO, 1983).

O pH é uma medida de atividade dos íons  $H^+$  na solução do solo. Normalmente é medido numa suspensão solo/água por causa de dificuldades práticas na obtenção da solução verdadeira do solo. A concentração de sais na solução do solo ou na água afeta o pH. Conforme VOLKWEISS (1989), quanto maior a concentração de sais no solo menor será o seu pH em água, porque os sais deslocam o  $H^+$ , principalmente o trocável, aumentando a concentração desse íon na solução do solo. Além disso, aumentam a hidrólise de compostos de Fe e Al, o que também contribui para aumentar a concentração de  $H^+$  na solução.

O procedimento convencional utilizado para determinara a necessidade de calagem do solo nos Estados do RS e SC é o método SMP (COMISSÃO DE

FERTILIDADE DO SOLO, 1989), o qual dá uma medida da acidez potencial. O método baseia-se na variação do pH em uma solução tampão pH 7,5, em contato com os ácidos do solo. O pH da suspensão solo/água/SMP é algum valor entre o pH do solo em água e o pH da solução SMP.

O método da solução tamponada SMP tem sido utilizado em substituição ao do acetato pois apresenta grande vantagem analítica, ou seja, usa-se a mesma solução de  $\text{CaCl}_2$  da determinação da acidez ativa. Além disso, também mostra estreita correlação com o método do acetato (PAVAN et al., 1992).

Segundo TOMÉ (1997), o pH SMP baseia-se na correlação existente entre o índice SMP e a acidez potencial do solo ( $\text{H}^+\text{Al}$ ). Quanto mais baixo o índice SMP, maior a quantidade de  $\text{H}^+\text{Al}$  do solo e, portanto, maior a quantidade de calcário a ser aplicada para atingir um pH adequado neste solo.

O método SMP tem sido mais usado nos estados do sul, onde ocorrem solos de maior CTA e maiores teores de Al trocável (FURTINI NETO et al., 2004), seguindo uma tabela de recomendação que relaciona pH SMP e pH em água à atingir. A Tabela 2 demonstra os quantitativos em ton/ha de corretivo a usar de acordo com o índice do pH SMP correlacionando a acidez potencial que se pretende.

Este método baseia-se na elevação do pH do solo para um valor desejado, a partir da mistura do solo com uma solução tampão. A solução mais usada em todo o mundo é a SMP, em homenagem aos autores de método, SHOEMAKER, MCLEAN E PRATT (1961). A solução tampão SMP é constituída de trietanolamina, paranitrofenol, cromato de potássio, acetato de cálcio e cloreto de cálcio, com pH inicial de 7,5. No laboratório, o solo é misturado com solução SMP e, após agitação, determina-se o pH do sobrenadante, que nada mais é do que o pH SMP ou índice SMP. Quanto menor o pH SMP maior é a transferência de acidez do solo para a solução tampão, ou seja, mais ácido é o solo.

No Brasil este método é usado nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SIQUEIRA et al., 1989), permitindo, conforme a exigência da planta, elevar o pH do solo para 5,5, 6,0 ou 6,5.

Por muitos anos, o pH ótimo para as plantas foi tomado como aquele próximo a neutralidade, mas especificamente na faixa de 6,5 a 7,0. Todavia, a calagem para elevar o pH para 5,6 ou 5,7 e reduzir a percentagem de saturação em

alumínio para baixo de 10 % pode ser mais do que suficiente para a maioria das espécies vegetais (TISDALE et al., 1993).

TABELA 2 – RECOMENDAÇÕES DE CALAGEM (CALCÁRIO COM PRNT 100%) COM BASE NO ÍNDICE SMP, PARA A CORREÇÃO DA ACIDEZ DOS SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA

Índice SMP	pH em água a atingir		
	5,5	6,0	6,5
	.....t/ha.....		
≤4,4	15,0	21,0	29,0
4,5	12,5	17,3	24,0
4,6	10,9	15,0	20,0
4,7	9,6	13,3	17,5
4,8	8,5	11,9	15,7
4,9	7,7	10,7	14,2
5,0	6,6	9,9	13,3
5,1	6,0	9,1	12,3
5,2	5,3	8,3	11,3
5,3	4,8	7,5	10,4
5,4	4,2	6,8	9,5
5,5	3,7	6,1	8,6
5,6	3,2	5,4	7,8
5,7	2,8	4,8	7,0
5,8	2,3	4,2	6,3
5,9	2,0	3,7	5,6
6,0	1,6	3,2	4,9
6,1	1,3	2,7	4,3
6,2	1,0	2,2	3,7
6,3	0,8	1,8	3,1
6,4	0,6	1,4	2,6
6,5	0,4	1,1	2,1
6,6	0,2	0,8	1,6
6,7	0,0	0,5	1,2
6,8	0,0	0,3	0,8
6,9	0,0	0,2	0,5
7,0	0,0	0,0	0,2

FONTE - Tabela elaborada com base na análise conjunta dos dados obtidos por Murdock et al. (1969), por Kaminski (1974), por Ernani & Almeida (1986), por Anjos et al., (1987) e por Ciprandi et al. (1994).

Segundo FURTINI NETO et al. (2004), no caso dos latossolos da região de cerrado, a calagem para elevar o pH para próximo de 7,0 é um grande risco, pelas seguintes razões:

- piora a estruturação do solo e, conseqüentemente, a aeração e percolação de água, pela substituição do  $Al^{3+}$  pelo  $Ca^{2+}$  nos colóides do solo;

- reduz a disponibilidade de fósforo pela precipitação de fosfatos com cálcio;
- reduz a disponibilidade e, conseqüentemente, a absorção de micronutrientes catiônicos, notadamente em solos com baixa disponibilidade inicial dos mesmos. Este é um problema sério, por exemplo, no caso do manganês em soja e do zinco em milho.

Para os Estados de RS e SC, as culturas são distribuídas de acordo com o pH mais indicado, de forma que, a partir desta informação, seleciona-se o pH desejado para definição da recomendação de calagem para cada cultura.

Com vistas em estimar a acidez potencial de solos de diferentes estados e regiões brasileiras, vários estudos têm sido desenvolvidos por meio do pH SMP. Quaggio et al. (1985) apresentaram o modelo de equação para o estado de São Paulo, Corrêa et al. (1985), para o estado de Minas Gerais; Sousa et al. (1989), para os cerrados; Pavan et al. (1996), para o estado do Paraná; Maeda et al. (1997), para o estado do Mato Grosso do Sul; Escosteguy & Bissani (1999), para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina; Nascimento (2000), para o estado de Pernambuco; Silva et al. (2000), para solos do semi-árido do nordeste brasileiro, e Silva et al. (2002), para os solos da região norte do estado de Minas Gerais.

O Estado de SP adotou, até 1965, um critério de recomendação de calagem baseado na correlação entre o pH e a % de saturação em bases (V), proposto por CATANI & GALLO (1955), que objetivava elevar o pH dos solos para 6,5, o que corresponde, segundo os dados apresentados por esses autores, a saturação em bases de 70 % [ $V = (\text{pH} - 4,288)/0,03126$ ]. Historicamente é interessante observar aqui que a idéia de considerar a % de saturação em bases do solo como fator importante no desenvolvimento de plantas foi introduzida por PIERRE (1931).

Segundo ADAMS (1984), mas foi HISSINK (1923), em trabalho escrito em 1920, na Holanda, quem propôs representar o grau de saturação do solo pela expressão “% de saturação em bases” (THOMAS, 1977), gerando o que se definiu por “fator Hissink”. Pierre, ao definir os fatores da infertilidade de solos ácidos, conclui que “a percentagem de saturação em bases é um dos mais importantes fatores determinantes do desenvolvimento de plantas em solos ácidos”. Princípio semelhante foi proposto por BEAR & TOTH (1948) em termos de % de saturação do solo pelos principais cátions (65 % de Ca, 10 % de Mg, 5 % de K e 20% de H, ou seja, % de saturação de base de 80%), que GRAHAM (1959) alterou para uma



amplitude de valores (65 a 85 % de Ca, 6 a 12 % de Mg e 2 a 5 % de K). Porém a manutenção desses índices tem sido questionada em termos científicos e econômicos (HABY et al., 1990), pois seu emprego, em muitos casos, implica a aplicação de altas doses de K.

Com o conhecimento da importância do Al em solos de regiões de clima tropical, passou-se a adotar o teor de Al trocável como critério para determinar a dose de calcário e, em 1965, tanto no Estado de São Paulo como nos demais estados do país (exceto RS e SC), adotou-se esse parâmetro (RAIJ et al., 1979). Porém, em 1968, VERDADE et al. (1968) sugeriram para os solos de São Paulo tanto o método de CATANI & GALLO (1955) (baseado no pH em água e na saturação de bases e que objetivava atingir pH 6,5) como o método do Al, mas havia restrições a calagens elevadas (RAIJ et al., 1983). Oficialmente, o Estado de São Paulo, adotou, em 1977, o método de Al x 2, ajustando o teor de Ca + Mg para 2 ou 3 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, sendo 2 para solos com teor de matéria orgânica até 2 % e 3 para solos com mais de 2 % de matéria orgânica (IAC, 1977). Porém segundo QUAGGIO (1983b), a extração de Al com KCl já era usada em São Paulo em 1932. Em 1985, o Estado de São Paulo adotou o método de saturação de bases (RAIJ et al., 1985), em função dos dados de QUAGGIO (1983a), RAIJ et al. (1983) e do trabalho de CATANI & GALLO (1955).

O método de Catani e Gallo previa o cálculo da saturação em bases sem incluir o Al e objetivava atingir pH 6,5 e saturação em bases de 70 %, e o método do Al x 2 conferia doses muito baixas em relação as respostas das culturas (RAIJ et al. 1983), pois com o pH 5,4 a 5,6 o teor de Al torna-se zero, impedindo, portanto, a recomendação de calcário a partir desse pH. O método de saturação em bases incluindo o teor de Al nos cálculos foi proposto por RAIJ (1981) (Equação [E.18]), empregando o pH da solução SMP para calcular os teores de H+Al (RAIJ & QUAGGIO, 1983; QUAGGIO et al., 1985), com base nas observações iniciais de RAIJ et al. (1979), que verificaram existir uma excelente correlação entre os valores de pH SMP e os teores de H+Al.

$$NC \text{ (t/ha)} = \frac{CTC (V_2 - V_1)}{PRNT} , \quad [E.18]$$

Onde:

CTC representa a soma de H, Al, Ca, Mg e K trocáveis e é expresso em  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ ,  $V_1$  é a % de saturação de bases atual,  $V_2$  é a % de saturação de bases desejada e PRNT é o poder relativo de neutralização total do calcário expresso em %. A percentagem da capacidade de troca de cátions satisfeita com íons básicos (Ca, Mg e K) é denominada percentagem de saturação de bases e vários parâmetros de acidez do solo foram apresentados por RAIJ (1991).

O Estado do PR passou a empregar o método de saturação em bases para a cultura de soja em 1985 (PALHANO et al., 1984) e, mais recentemente, para outras culturas. Na região dos cerrados, o método da saturação em bases foi adotado a partir de 1990 (SOUSA et al., 1990). Esse método também tem apresentado bons resultados na Nova Zelândia para 60 % de saturação de bases (HESSE, 1971).

Na Tabela 3 constam os métodos adotados presentemente nos diversos estados, e na Tabela 4 constam as equações usadas para estimar o teor de H+Al em função do índice SMP.

Nas regiões onde são usados os teores de Al, Ca e Mg trocáveis e o teor de argila (para compensar o efeito tampão desta na alteração do pH), a seguinte equação geral é empregada (BAHIA FILHO et al., 1996):

$$\text{NC (t/ha)} = Y \times \text{Al} + [X - (\text{Ca} + \text{Mg})], \quad [\text{E.19}]$$

Onde:

Al, Ca e Mg são expressos em  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  de solo;

$Y = 1$  para solos arenosos (< 15 % de argila);

$Y = 2$  para solos de textura média (15 a 35 % de argila);

$Y = 3$  para solos argilosos (> 35 % de argila);

$X = 1, 2$  ou  $3$  em função da espécie vegetal.

Esse método originou-se da proposição de COLEMAN et al. (1958), e de KAMPRATH (1970) de que o alumínio é o maior problema em solos ácidos. A

necessidade de calagem é dada diretamente em t/ha, pelo teor de  $\text{Al}^{3+}$  trocável multiplicado pelo “fator de calagem” 1,5. O fator de calagem segundo KAMPRATH (1970), se deve à imperfeição da mistura do calcário com o solo, o que requer uma aplicação mais elevada do que o valor teórico para neutralização do alumínio.

Segundo FURTINI NETO et al. (2004) observou-se mais tarde, que muitos solos ácidos apresentam baixo teor de alumínio trocável, mas necessitam de calcário por apresentar baixa disponibilidade de cálcio e de magnésio. Com isso, varias formulas para a necessidade de calagem foram surgindo ao longo dos anos, tanto visando neutralizar o alumínio, quanto elevar os teores de cálcio e magnésio.

A COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG (1999) recomenda, para o estado de Minas Gerais, o uso da seguinte equação:

$$\text{NC (t/ha)} = Y. [\text{Al}^{3+} - (m_t \cdot t/100)] + [X - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})] \quad [\text{E.20}]$$

em que:

$\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , e  $\text{Mg}^{2+}$  = correspondem aos valores encontrados na análise de solo;

$m_t$  = indica a percentagem de saturação de alumínio tolerada pela cultura;

$t$  = valor de CTC efetiva na análise do solo

$Y$  = representa o fator do solo, mais especificamente seu poder tampão em função da textura, da seguinte forma:

$Y = 0,0-1,0$  (para solos arenosos menos 15 % de argila);

$Y = 1,0-2,0$  (para solos de textura média 16 a 35 % de argila);

$Y = 2,0-3,0$  (para solos argilosos: 35 % a 60 % de argila);

$Y = 3,0-4,0$  (para solos argilosos: mais de 60 % de argila).

$X$  = representa o fator planta, quanto ao requerimento de Ca e Mg, sendo o seu valor variável de 1,0 a 3,5, conforme a existência da cultura.

Para o cultivo da soja em solos de cerrado, SOUSA et al. (1992) fazem as seguintes recomendações:

a) para solos com teor de argila acima de 20% e teor de Ca + Mg menor que 2,0  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ , é utilizada a seguinte formula:  $\text{NC (t/ha)} = (\text{Al} \times 2) + [2 - (\text{Ca} + \text{Mg})]$ ;

b) para solos com teor de argila acima de 20% e teor de Ca + Mg maior que 2,0 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, pode-se utilizar a fórmula: NC (t/ha) = Al x 2;

c) para solos com teor de argila menor que 20%, a quantidade de calcário a ser utilizada é dada pelo maior valor encontrado em uma das equações:

$$\text{NC (t/ha)} = \text{Al} \times 2 \quad [\text{E.21}]$$

ou

$$\text{NC (t/ha)} = [2 - (\text{Ca} + \text{Mg})] \quad [\text{E.21}]$$

TABELA 3 - MÉTODOS USADOS ATUALMENTE PARA DETERMINAR A NECESSIDADE DE CALAGEM EM ALGUNS ESTADOS E REGIÕES DO BRASIL.

Estado/Região	Método	Observação
AL	Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg = 2 cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>
BA, Sudeste	Ca + Mg, saturação em Al	Elevar Ca + Mg = 3 cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>
BA, Oeste	Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg = 3 cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>
BA, PE, região semi-árida	Ca + Mg	Elevar Ca + Mg = 2 ou 3 cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> , em função da espécie
CE	Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg = 2 cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>
Cerrados	Saturação em bases, Al e Ca + Mg	Saturação em bases de 50 %
ES	Saturação em bases, Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg para 2 ou 3 cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>
GO	Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg para 2 ou 3 cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>
MG	Saturação em bases, Al e Ca + Mg e teor de argila	Elevar Ca + Mg para 1, 2 ou 3 cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>
MS centro-sul	Saturação em bases (60 %), Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg para 2 ou 3 cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>
MT e centro-norte e MS	Saturação em bases (50 %), Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg para 2 ou 3 cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>
PE	Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg para 2 cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>
PR	Saturação em bases, Al trocável	Variável em função da espécie
RJ	Al e Ca + Mg	Elevar Ca + Mg = 2 ou 3 cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> , em função da espécie
RS, SC	SMP e equações envolvendo MO e Al	Tabela para pH em água 5,5, 6,0 e 6,5, em função da espécie
SP	Saturação em bases	Variável em função da espécie

FONTE - WIETHÖLTER, 2000.

SOUSA et al. (1992) relatam que o método de estimar a necessidade de calagem com base nos teores de alumínio, cálcio e magnésio trocáveis eleva a saturação por bases para cerca de 50%, que é o valor ideal para o cultivo da soja em solos de cerrado.

De acordo com as recomendações de CFSEMG (1999), alternativamente, a calagem pode ser calculada de forma a se atingir o nível de saturação por bases indicado para cada cultura, em função de sua sensibilidade à acidez do solo e/ou exigência em Ca e Mg.

Segundo FURTINI NETO et al. (2004), o método baseado na elevação da saturação por bases, que foi introduzido em São Paulo em 1983, baseia-se na elevação da saturação por bases a valores desejados para diferentes espécies vegetais, considerando a estreita relação entre a percentagem de saturação por bases e o pH do solo. A necessidade de calagem, segundo RAIJ (1981), é dada pela equação a seguir:

$$NC \text{ (t/ha)} = [T \times (V_2 - V_1)]/100 \quad [E.22]$$

em que:

T = valor de CTC potencial ou CTC a pH 7,0 da análise do solo;

V<sub>2</sub> = percentagem de saturação por bases desejada, de acordo com as recomendações para as condições regionais (por exemplo para o estado de São Paulo – Tabela 5);

V<sub>1</sub> = percentagem de saturação por bases do solo, conforme resultado da análise do solo.

Usualmente a recomendação, de acordo com a Tabela 5, por faixas de valores V<sub>2</sub> é feita para deixar uma quantidade a mais de corretiva no solo, para minimizar a perda de base entre uma calagem e outra. Por exemplo, para milho a recomendação por bases é inferior a 60% e, neste caso, o cálculo é feito para elevá-la a 70% (RAIJ, 1991).

Para solos com alto teor de matéria orgânica, recomenda-se tomar como valor de V<sub>2</sub> uma saturação em base de 10 a 20 pontos abaixo do valor estipulado pela Tabela 5. Assim, por exemplo, num solo com cerca de 4% de matéria orgânica, a recomendação para o milho seria de um V<sub>2</sub> de 40 a 60%. É importante lembrar que a matéria orgânica, por meio de sua decomposição, é fonte de cálcio e de magnésio

e produz agentes complexantes e quelantes, que reduzem a atividade do alumínio em solução. Portanto, em parte, a matéria orgânica substitui o calcário.

TABELA 4 - EQUAÇÕES DESENVOLVIDAS PARA SOLOS DE DIVERSOS ESTADOS VISANDO ESTIMAR O TEOR DE H + AL EM FUNÇÃO DO pH SMP

Estado/ Região	Equação	pH <sub>SMP</sub> quando H + Al = 1 cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	H + Al <sup>1</sup> quando pH <sub>SMP</sub> = 5	Referência
SP	$H + Al^{(1)} = e^{7,76 - 1,053SMP}$	7,4	12,1	Raij & Quaggio (1983)
Cerrados	$H + Al = e^{7,719 - 1,068SMP}$	7,2	10,8	Sousa et al. (1989)
PR	$H + Al = e^{6,0687 - 0,7444SMP}$	8,2	10,5	Pavan et al. (1992)
MS	$H + Al = e^{8,085 - 1,062SMP}$	7,6	16,0	Maeda et al. (1997)
PA	$H + Al = [13,294SMP^2 - 201,73SMP + 786,3]/10$	7,5	11,0	Gama et al. (1998)
PE	$H + Al = 0,4837SMP^2 - 8,4855SMP + 38,448$	< 8,0	8,1	Nascimento (2000)
Semi-árido do nordeste	$H + Al = [31,521SMP^2 - 451,61SMP + 1625,3]/10$	6,9	15,5	Silva et al. (2000)
RJ	$H + Al = [e^{10,05 - 1,02SMP}]/10$	7,6	14,1	Pereira et al. (1998)
RS e SC	$H + Al = [e^{8,9832 - 0,9004SMP}]/10$	7,4	8,8	Escosteguy & Bissani (1999)

<sup>1</sup> cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de solo

<sup>2</sup> O menor valor de H + Al (= 2,1) é obtido com pH<sub>SMP</sub> = 7,5  
e = 2,7182818.

FONTE - WIETHÖLTER, 2000.

FURTINI NETO et al. (2004) diz que este método tem a grande vantagem de considerar a planta cultivada ao recomendar o corretivo. Os valores de V<sub>2</sub> é que precisam ser mais bem definidos para as culturas e para cada região.

Nas regiões onde se usa Al ou Ca + Mg (cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>) (EMPRESA PARANAENSE DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL - EMATER, 1978, 1980ab), emprega-se o valor maior entre:

$$NC \text{ (t/ha)} = Al \times 2 \quad [E.23]$$

ou

$$NC \text{ (t/ha)} = [2 - (Ca + Mg)] \times 2 \quad [E.23]$$

Um dos aspectos da calagem no país, até o fim da década de 60, foi o fato de não haver uma recomendação objetiva e interpretação uniforme de um dado método para estimar a necessidade de calagem (WIETHÖLTER, 2000). Talvez por essa razão, MALAVOLTA (1967) sugere sete métodos, a saber: acidez hidrolítica (extração com acetato de Ca e titulação com uma solução alcalina em presença de fenolftaleína); acidez de troca (KCl 1 mol/L e titulação com uma solução alcalina em presença de fenolftaleína); método de VETTORI (1948) (acetato de Ca neutro a 1 molc/L e titulação com NaOH 0,1 molc/L, em presença de fenolftaleína); método de CATANI & GALLO (1955) (acetato de Ca 1 molc/L e titulação com NaOH 0,02 molc/L, usando fenolftaleína como indicador) (usado em São Paulo até 1965); método aproximado de Malavolta [usando pH, o tipo de solo (arenoso ou argiloso) e o teor de matéria orgânica]; curvas de titulação; e o método da solução tamponada SMP (SHOEMAKER et al. 1961). Dos sete métodos acima, cinco envolviam o processo de titulação da acidez extraída.

A dose de calcário a ser aplicada era ajustada através de constantes, mas não é especificado qual o pH do solo que seria atingido, exceto no método de Catani e Gallo, que objetivava atingir pH 6,5. É interessante observar que MALAVOLTA (1967) cita somente métodos publicados até 1961. Portanto, aparentemente, a falta de um método padrão perdurou pelo menos até a metade da década de 60. Posteriormente, com o convênio da Universidade da Carolina do Norte (EUA), passou-se a adotar o teor de Al trocável extraído com KCl 1 mol/L na maioria dos estados, exceto no Rio grande do Sul e em Santa Catarina e, em São Paulo, onde o método do Al foi adotado em 1977 a 1985. Segundo LOPES (1983ab), na região dos cerrados usava-se cinco sistemas de recomendação de calcário envolvendo Al e/ou Ca + Mg. A adequação da extração do teor de Al trocável com KCl 1 mol/L para fins de correção da acidez do solo foi obtida por LIN & COLEMAN (1960), e a possibilidade prática de estimar a necessidade de calagem pelo teor de Al trocável

em solos de clima tropical foi verificada por KAMPRATH (1970) e por REEVE & SUMNER (1970).

TABELA 5 - LIMITES DE SATURAÇÃO POR BASES (V2) ADEQUADOS PARA DIFERENTES CULTURAS NAS CONDIÇÕES DO ESTADO DE SÃO PAULO.

V2 (%)	Cultura
30-40	Capim-limão, capins (napier, pangola, coast-cross, estrela, green panic, braquiárias, setárias, gorduras(, chá, citronela, leguminosas (centrosema, desmódio, galáxia, cudzu, calapogônio, siratro, estilosantes), palma rosa.
40-50	Arroz-de-sequeiro (máximo 3 t/ha), arroz irrigado (máximo 4 t/ha), azalea (máximo 2 t/ha), cacau, eucalipto (para óleos essenciais), fórmio, fumo, funcho, mandioca (máximo 2t/ha), seringueira (máximo 2t/ha).
50-60	Abacate, abacaxi, batata, batata-doce, cana-de-açúcar, capins (rodes, jaraguá e napier <sup>1</sup> , pangola <sup>1</sup> , coast-cross <sup>1</sup> , estrela <sup>1</sup> , green panic <sup>1</sup> , cará, gladiolo, gramados, leguminosas (alfafa, leucena, soja-perene), mamona, manga, menta, plantas ornamentais, rami, trigo, vetiver.
60-70	Abóboras, adubos verdes, alface, algodão, alho, almeirão, ameixa, amendoim, banana, berinjela, brócolos, bucha, café (máximo 5 t/ha), camomila, caqui cenoura, cebola, chuchu, couve-flor, couve-manteiga, crotalaria-juncea, ervilha, escarola feijão, feijão-vagem, figo, girasol, goiaba, jiló, laranja, leguminosas adubos verdes, limão, maçã, macadâmia, mamona, maracujá, marmelo, melancia, melão, milho, moranga, morango, nectarina, nespera, pecã, pepino, perá, pêssego, pimenta, pimenta-do-reino, pimentão, quiabo, rabanete, repolho, rosa, soja, sorgo-granífero, tangerina, tomate.
70-80	Mamão, piretro, sisal, uva.

\* A aplicação máxima, em qualquer caso não deve exceder 10 t/ha, para um período de 3 anos.

<sup>1</sup> Nestes casos, quando usados para capineiras ou fenação; para pastejo usar V de 30% a 40%.

FONTE: Werner (1984); Raji et al. (1985).

Independentemente do método de avaliação da necessidade de calagem, o importante é o objetivo que se deseja alcançar com calagem (SUMNER, 1997), já que as plantas em geral se beneficiam desta prática quando o solo é ácido. Em qualquer circunstância, quantidades menores de calcário terão menor período residual. O termo “necessidade de calagem” deve refletir a quantidade de calcário necessária para retorno econômico máximo de uma determinada seqüência de culturas em um determinado solo (HESSE, 1971).



#### **4.5.8 Método de determinação da acidez ativa (pH $\text{CaCl}_2$ 0,01mol/L – 1:2,5)**

O solo é tipicamente um ácido fraco, pois apenas uma pequena parte de sua acidez encontra-se dissociada na fase líquida, a qual é denominada acidez ativa e representa a atividade dos íons  $\text{H}^+$  na solução do solo. Essa acidez pode ser medida em soluções aquosas ou salinas.

O pH em solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01mol/L foi introduzido por SCHOFIELD e TAYLOR (1995) e por se determinado por solução alcalina apresenta valores menores do que o pH em água. Em estudo feito em solos do Estado de São Paulo, esta diferença foi da ordem de 0,6 unidade (QUAGGIO, 1983a). Este estudo mostrou também que existe estreita relação entre estas duas medidas de pH. Algumas vantagens são enumeradas por PEECH (1965a) para a dosagem do pH em cloreto de cálcio:

- a) o pH em  $\text{CaCl}_2$  é pouco afetado pela relação entre terra e solução;
- b) a concentração salina de 0,01 mol/L é suficiente para padronizar as variações de sais entre amostras, evitando-se assim as variações estacionais de pH;
- c) a suspensão de solo em  $\text{CaCl}_2$  é floculada, o que minimiza os erros provenientes do potencial de junção líquida, uma vez que o eletrodo de referencia permanece num sobrenadante isento de partículas de solo;
- d) a concentração salina utilizada é semelhante à concentração de sais observada em solução de solo de boa fertilidade. E o  $\text{Ca}^{2+}$  é normalmente o íon mais abundante em solos. Por essas razões, o pH em  $\text{CaCl}_2$  representa a atividade do íon  $\text{H}^+$ , mais próxima daquela que existe no ambiente radicular das plantas.
- e) destaca-se também a vantagem da precisão e estabilidade do aparelho de leitura.

#### **4.6 A CALAGEM NO PARANÁ**

Segundo WIETHÖLTER (2000), a exemplo dos demais estados do Brasil, a pesquisa com calagem teve grande impulso na década de 60, com a atuação de vários pesquisadores. Este autor destaca os trabalhos dos professores Raul Edgar Kalckmann da UFRGS [cedido à Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Coordenador Técnico do Projeto de Recursos de Solo do CERENA (Comissão de

Estudo dos Recursos Naturais Renováveis do Estado do Paraná)], Carlos Bodziak Jr. (Prof. de Química Agrícola da UFPR) para o conhecimento inicial da necessidade de calagem dos solos desse estado.

Uma das preocupações iniciais foi a determinação de um método para estabelecer a necessidade de calagem e as doses de calcário a aplicar (KALCKMANN, 1967; MUZILLI, 1968). Assim, usando 16 solos, KALCKMANN et al. (1967) verificaram que para neutralizar o Al era necessário aplicar 1,7 t/ha de  $\text{CaCO}_3$  para cada  $\text{cmol}_c \text{ Al/kg}$  (= meq Al/100g de solo), ou 0,52 t de  $\text{CaCO}_3$ /ha por cada  $\text{cmol}_c \text{ H+Al/kg}$  de solo. Vários estudos (MUZILLI et al., 1969ab; MUZILLI & KALCKMANN, 1969, 1971a) indicaram que para trabalhos em laboratório e em campo o fator de calagem,  $f = 1,5 \text{ a } 2,0 \times \text{Al}$ , era satisfatório para reduzir a presença de Al trocável para teores abaixo de 0,5  $\text{cmol}_c \text{ Al/kg}$  de solo. Posteriormente, MUZILLI & KALCKMANN (1971a) estabeleceram níveis para a interpretação da % de saturação de Al, e MUZILLI & GODOY (1979) verificaram que o fator de calagem de 2 t/ha para cada  $\text{cmol}_c \text{ Al/kg}$  de solo era suficiente para neutralizar a acidez trocável e elevar o pH a 5,4.

O avanço do conhecimento sobre a prática da calagem durante a década de 60 levou MUZILLI & KALCKMANN (1970, 1971b) a escrever, textualmente, o seguinte: “A excelente repercussão obtida com o desenvolvimento da Operação Tatu no Rio Grande do Sul fez com que entidades de pesquisa e de extensão rural do Estado do Paraná também se movimentarem, com o fito de proceder a pesquisas básicas para a execução de trabalho semelhante ao desenvolvido naquele estado sulino”. Os autores escolheram 20 produtores assistidos pela ACARPA, na região nordeste do estado, e estabeleceram áreas experimentais com a cultura de milho na safra 1969/1970. Os tratamentos foram com e sem calagem e doses de P e de K. Nas parcelas com calagem em solos com teor de Al menor que 0,5  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ , aplicaram-se 2 ton de calcário por ha, e nos demais solos aplicaram-se 4 vezes o teor de Al, expresso em  $\text{cmol}_c/\text{kg}$ . Os resultados indicaram haver necessidade de correção da acidez em solos com mais de 0,5  $\text{cmol}_c \text{ Al/kg}$  de solo, estabelecendo-se um nível crítico de acidez correspondente a 20 % de saturação de Al (MUZILLI & KALCKMANN, 1971b). Dessa forma, o teor de Al trocável  $\times 2$  passou a ser o parâmetro adotado para determinar a necessidade de calagem. Porém, em 1985

(PALHANO et al. 1984), o estado adotou o método da saturação de bases para soja (70%) e, posteriormente, também para outras culturas.

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 ESCOLHA DAS REGIÕES PARA AMOSTRAGEM DOS SOLOS**

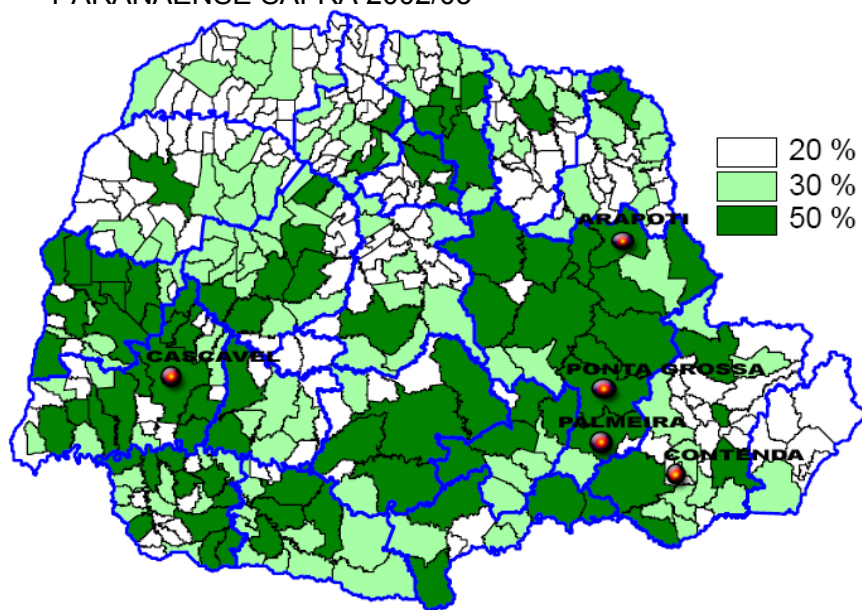
Para este estudo cinco amostras de solos foram coletadas em distintos municípios do Estado do Paraná, sendo estes escolhidos pela sua localização geografia e a representatividade que a região aonde o solo se encontrava tinha no Valor Bruto da Produção - VBP agropecuário, tendo como base a safra 2002/03, a partir de dados publicados por SEAB/DERAL (2004).

Uma vez verificado a faixa que compreende as regiões de maior concentração do VBP de 2002/03, onde apenas 86 municípios do Paraná concentram 50 % (Figura 01) deste índice, foram escolhidos os municípios.

Os solos dos municípios de Arapoti, Ponta Grossa, Palmeira, Contenda e Cascavel foram os escolhidos para estudo. Estes municípios estão distribuídos entre os Núcleos Regionais que fazem parte da divisão política-administrativa da Secretaria Estadual de Agricultura e Abastecimento – SEAB do Estado do Paraná.

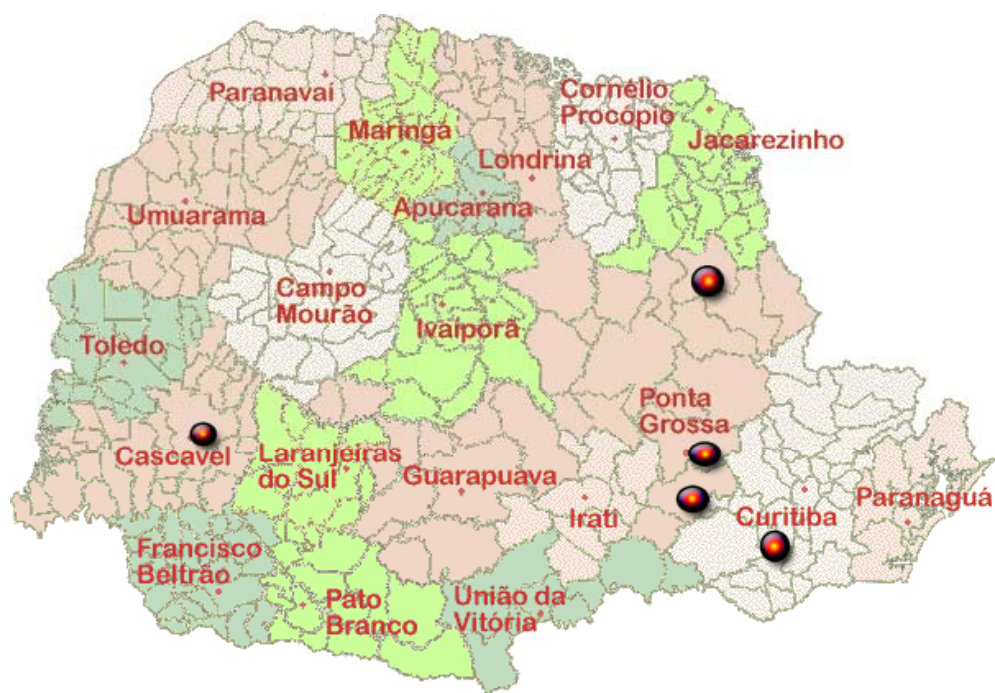
Esta divisão compreende em 20 Núcleos Regionais no estado (Figura 02), os municípios de Arapoti, Ponta Grossa e Palmeira pertencem ao Núcleo Regional de Ponta Grossa composto de 17 municípios, responsável pela 3ª maior participação no VBP agropecuário do estado (9,72 %). O município de Cascavel pertence ao Núcleo Regional de Cascavel, composto de 28 municípios é responsável pela maior participação no VBP agropecuário do estado (10,29 %); o município de Toledo, tem a 2ª colocação no VBP estadual (9,96 %). O município de Contenda pertence ao Núcleo de Curitiba, composto num total de 29 municípios e responsável pela 6ª posição no VBP estadual (5,90 %). Juntos os Núcleos estudados, são responsáveis por 25,91 % do VBP estadual, podendo-se aferir que participam em quase 26 % da produção agropecuária do Paraná.

FIGURA 01 - LOCALIZAÇÃO DOS SOLOS ESTUDADOS EM RELAÇÃO A CONCENTRAÇÃO DO VALOR DA PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA PARANAENSE SAFRA 2002/03



FONTE – SEAB/DERAL (2004)

FIGURA 02 - NÚCLEOS REGIONAIS DA SEAB QUE ESTÃO LOCALIZADOS OS MUNICÍPIOS ESTUDADOS



FONTE – SEAB/DERAL (2004)

A distribuição geográfica e política do Estado do Paraná e dos municípios são descritos e demonstrados a seguir.

## 5.2 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DAS REGIÕES ESTUDADAS

O Estado do Paraná, situado entre 22 e 27°S de latitude, com altitudes de 0 a 1.300 m, caracteriza-se por apresentar grande diversidade de clima, solos e relevo, que proporcionam ambientes favoráveis para o cultivo de um grande número de espécies vegetais. A Figura 04 localiza o Estado do Paraná no plano geográfico. Diversos microclimas com regimes térmicos e pluviométricos distintos podem ser observados ao longo do território paranaense, associados com variações de latitude e altitude. Segundo MAACK (1968), desta posição resulta que o Paraná sofre a influência de diferentes fatores macroclimáticos, passando de um clima subtropical com invernos mais amenos ao Norte para uma condição que se aproxima dos climas temperados ao Sul, onde os invernos são mais severos e a estação de crescimento das plantas é mais bem definida (GOVERNO DO PARANÁ, 2004).

FIGURA 03 – MAPA DOS CLIMAS DO PARANÁ E LOCALIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS ESTUDADOS



A influência de outros macro elementos, associados a outros fatores naturais de interferência climática, como relevo, altitude, continentalidade e cobertura vegetal, definem para o Paraná, de acordo com a classificação desenvolvida por W. KÖPPEN, a ocorrência de três tipos climáticos, que podem ser observados na Figura 03, que são estabelecidos pelo INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (1994): Af (Tropical Superúmido), Cfa (Subtropical Úmido Mesotérmico) e Cfb (Subtropical Úmido Mesotérmico).

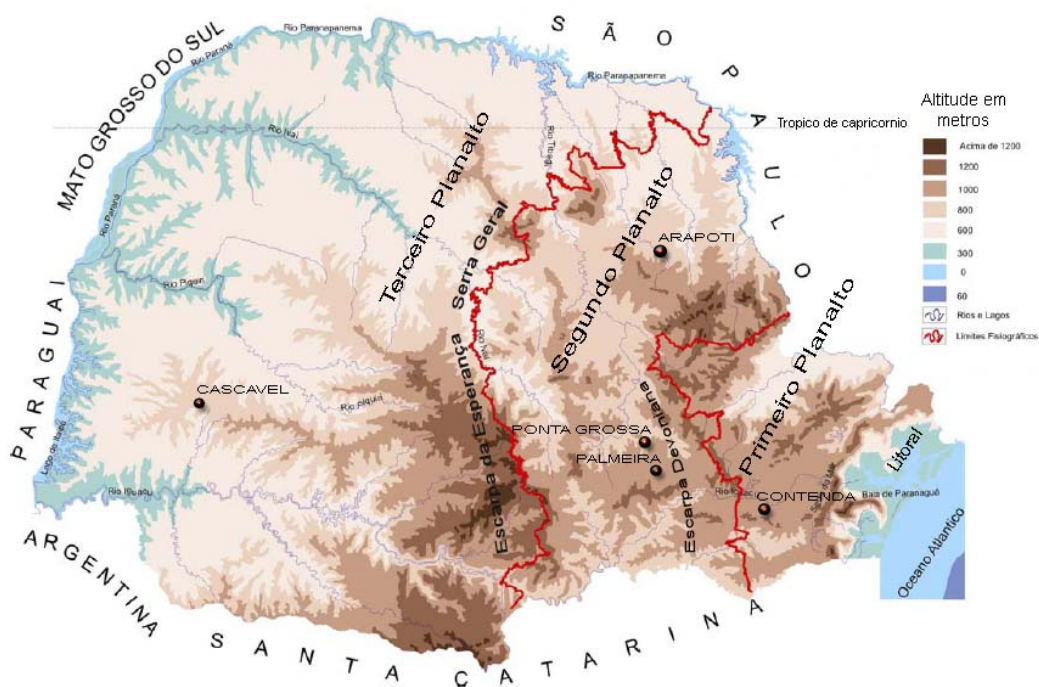
O mapa geomorfológico do Estado do Paraná bem como a localização dos municípios estudados estão demonstrados na Figura 05.

FIGURA 04 – MAPA DA LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ESTADO DO PARANÁ





FIGURA 05 – MAPA GEOMORFOLÓGICO DO PARANÁ E LOCALIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS ESTUDADOS



### 5.2.1 Arapoti

O município de Arapoti está localizado na Região denominada de Campos Gerais do Estado do Paraná, na zona geomorfológica, pertencente ao que MAACK (1968) classifica como Segundo Planalto Paranaense, que representa o segundo degrau do relevo escalonado do estado, localizando-se a oeste do Primeiro Planalto, no reverso da escarpa Devoniana. A região se caracteriza por topografia suavemente ondulada, cuja altitude varia de 800 a 960 m acima do nível do mar.

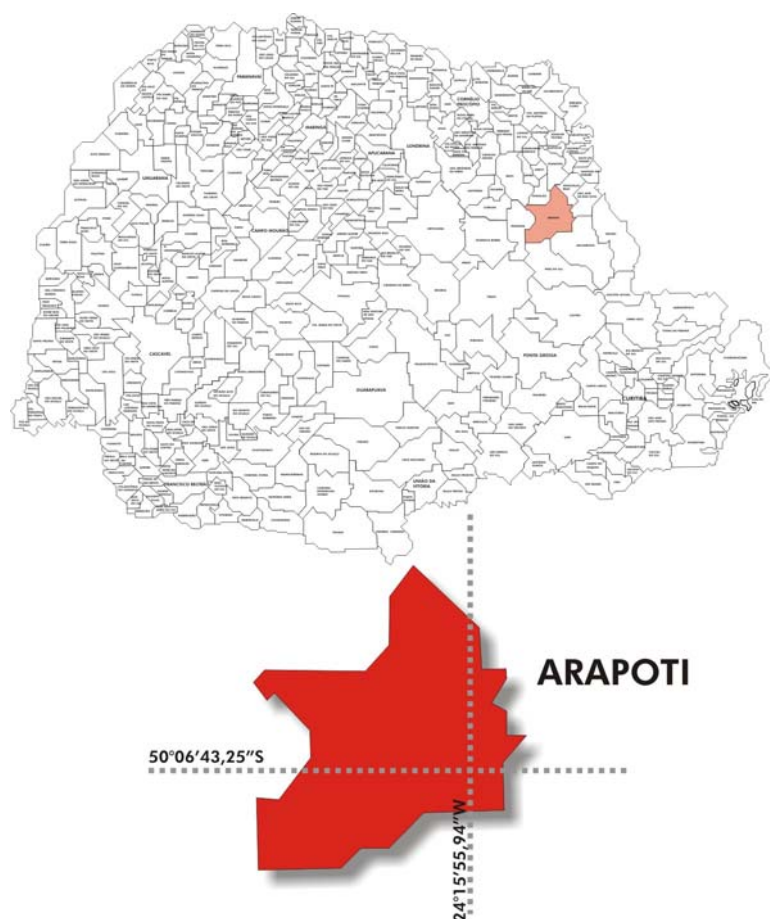
Clima Subtropical Úmido Mesotérmico, verões frescos (temperatura média inferior a 22° C), invernos com ocorrências de geadas severas e freqüentes (temperatura média inferior a 18° C), não apresentando estação seca.

O clima da região, de acordo com o sistema de classificação de KÖPPEN (1948), é definido como do tipo Cfa. As características do clima Cfa subtropical úmido

mesotérmico, característico da zona temperada, com chuvas concentradas no verão, sem estação seca bem definida e temperaturas máximas ultrapassando 22° C. Os verões variam de amenos a quentes e a ocorrência de geadas é baixa.

O ponto de coleta do solo de Arapoti foi geo-referenciado e esta localizado na Longitude W 50°06'43,25" e Latitude S 24°15'55,94", demonstrado na Figura 06, com Altitude de 1.003,25 m, sendo a data da coleta das amostras do solo em 08/01/2004.

FIGURA 06 – MAPA DA LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE ARAPOTI



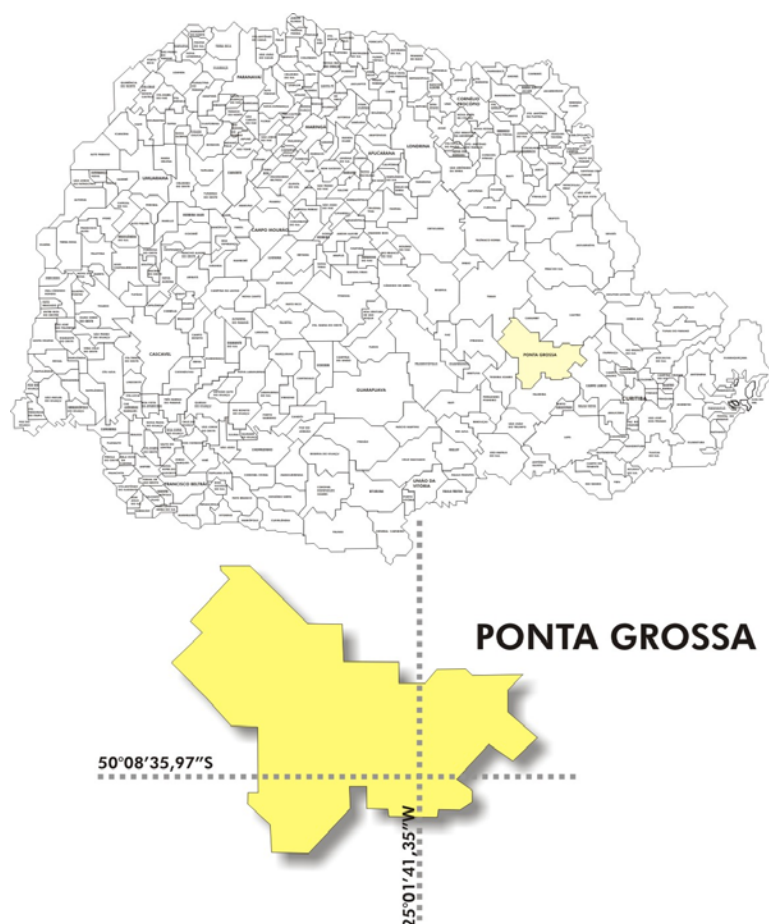
### 5.2.2 Ponta Grossa

Ponta Grossa esta localizada no 2° Planalto ou Planalto de Campos Gerais, distante 121 km de Curitiba, capital do Estado. Sua área total é de 2.112,6 km², a

área urbana é de 917,2 km<sup>2</sup> e a área rural de 1.195,4 km<sup>2</sup>. Limita-se ao Norte com o município de Castro, ao Sul com Palmeira e Teixeira Soares, a Leste com Campo Largo e a Oeste com Tibagi e Ipiranga. Seus distritos administrativos são Guaragi, Itaiacoca, Piriquitos e Uvaia.

O clima, segundo a classificação de KÖPPEN (1948) é caracterizado como Cfb, sendo subtropical úmido mesotérmico, verões frescos e apresenta temperatura média no mês mais frio inferior a 18° C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22° C, e invernos com ocorrências de geadas severas e frequentes, não apresentando estação seca definida.

FIGURA 07 – MAPA DA LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE PONTA GROSSA

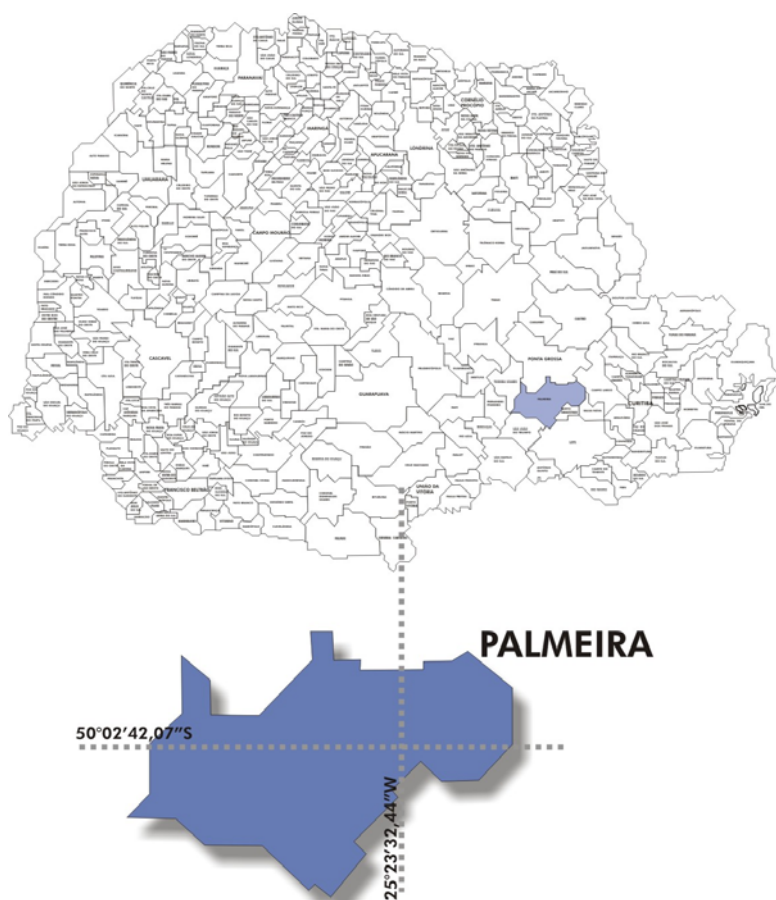


O ponto de coleta do solo de Ponta Grossa foi geo-referenciado e está localizado na Longitude W 50°08'35,97\" e Latitude S 25°01'41,35\", demonstrado na Figura 07, com Altitude 874,44 m, sendo a data da coleta do solo em 08/01/2004.

### 5.2.3 Palmeira

Palmeira localiza-se na zona fisiográfica dos Campos Gerais, no Primeiro Planalto, onde predominam os campos, o que torna o terreno pouco acidentado. A leste do Município está a Escarpa Devoniana, onde se situam os pontos mais elevados.

FIGURA 08 – MAPA DA LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE PALMEIRA



Clima Subtropical Úmido Mesotérmico, verões frescos (temperatura média inferior a 22° C), invernos com ocorrências de geadas severas e freqüentes (temperatura média inferior a 18° C), não apresentando estação seca.

O clima da região de Palmeira, de acordo com o sistema de classificação de KÖPPEN (1948), é definido como do tipo Cfb, sendo suas principais características um clima subtropical mesotérmico, com verões amenos, geadas severas e sem estação seca definida.

O ponto de coleta do solo de Palmeira foi geo-referenciado, e esta localizado na Longitude W 50°02'42,07" e Latitude S 25°23'32,44", demonstrado na Figura 08, com Altitude de 897,51 m, sendo a data da coleta do solo em 08/01/2004.

#### **5.2.4 Contenda**

Esta situada na zona geomorfológica denominado Primeiro Planalto ou Planalto de Curitiba, os solos são, em sua grande maioria, rasos, variando seu perfil de 0,5 a 2,5 m de profundidade e o relevo é caracterizado pela apresentam de declividade variável que é classificada como forte-ondulado (entre 20-45%).

Clima Subtropical Úmido Mesotérmico, verões frescos (temperatura média inferior a 22° C), invernos com ocorrências de geadas severas e freqüentes (temperatura média inferior a 18° C), não apresentando estação seca.

O clima da região de Contenda, de acordo com o sistema de classificação de KÖPPEN (1948), é definido como do tipo Cfb, sendo suas principais características um clima subtropical mesotérmico, com verões amenos, geadas severas e sem estação seca definida.

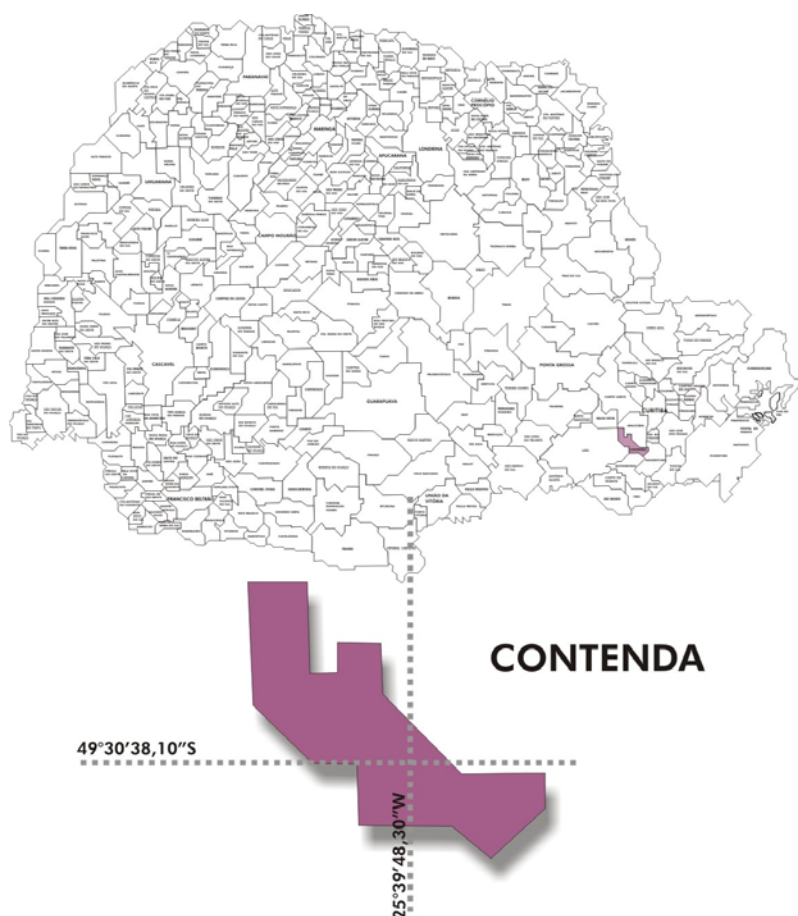
O ponto de coleta do solo de Contenda foi geo-referenciado, e esta localizado na Longitude W 49°30'38,10" e Latitude S 25°39'48,30", demonstrado na Figura 09, com Altitude de 901,00 m, sendo a data da coleta do solo em 09/01/2004.

#### **5.2.5 Cascavel**

Cascavel localiza-se na zona geomorfológica denominado Terceiro Planalto ou Planalto de Guarapuava, situado a oeste da escarpa da Esperança onde predominam relevos suaves, o que torna o terreno pouco acidentado.

É caracterizado por clima Subtropical Úmido Mesotérmico, verões quentes com tendência de concentração das chuvas (temperatura média superior a 22° C), invernos com geadas pouco freqüentes (temperatura média inferior a 18° C), sem estação seca definida.

FIGURA 09 – MAPA DA LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE CONTENDA

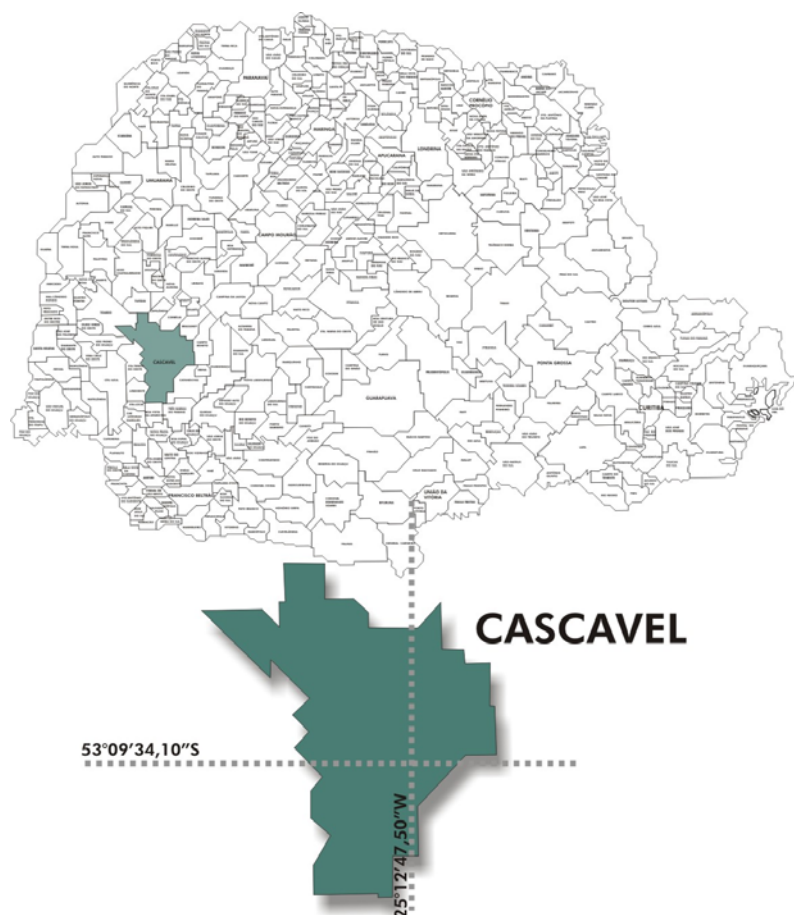


O clima da região de Cascavel, de acordo com o sistema de classificação de KÖPPEN (1948), é definido como do tipo Cfa, subtropical úmido mesotérmico, característico da zona temperada, com chuvas concentradas no verão, sem estação seca bem definida e temperaturas máximas ultrapassando 22° C. Os verões variam de amenos a quentes e a ocorrência de geadas é baixa.

O ponto de coleta do solo de Cascavel foi geo-referenciado, e esta localizado na Longitude W 53°21'10,95" e Latitude S 25°00'52,44", demonstrado na Figura 10, com Altitude 702,00 m, sendo a data da coleta do solo em 20/01/2004.



FIGURA 10 – MAPA DA LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE CASCAVEL



### 5.3 SOLOS ESTUDADOS

Foi coletado, nas localidades de Arapoti, Ponta Grossa, Palmeira, Contenda e Cascavel, amostras superficiais (0 a 20 cm) de solos minerais, cuja identificação encontra-se na Tabela 11, seguindo classificação segundo LARACH et al., (1984).

Procurou-se efetuar a coleta das amostras em locais onde os solos estavam mais preservados e que mantinham suas características físicas e químicas originais.

A metodologia utilizada para a determinação das frações físicas do solo foi a de EMBRAPA, 1999, na qual utilizou-se 50 g de solo seco e moído, deixando em agitação por 24 horas com 25 ml de NaOH 1N e 100 ml de H<sub>2</sub>O. Após procedimento

anterior foi peneirado e realizado a coleta de areia com auxílio de placa, a argila e silte foram coletados através de proveta.

#### **5.4 COLETA DOS SOLOS PARA INCUBAÇÃO E PREPARO**

Para este estudo as amostras dos solos foram coletadas em profundidade de 0-20 cm, sendo posteriormente deformadas pela ação mecânica da armazenagem para o transporte, do peneiramento e posterior manejo para a secagem ao ar.

Nas regiões onde os solos foram coletados a predominância do plantio direto é característico, embora ainda haja muitas áreas de plantio convencional.

O conhecimento da variabilidade espacial de propriedades químicas do solo entre os dois sistemas de plantio fornece subsídios para a coleta de amostras de solo representativas a ser submetidas ao estudo de estimativa de calagem aqui proposto.

A escolha da profundidade das amostras dos solos teve como preocupação a coleta de solos representativos para os dois sistemas de plantio, o direto e o convencional.

Segundo ANGHINONI & SALET (1998), os coeficientes de variabilidade horizontal entre os sistemas de cultivo foram baixos, menor que 10% para pH e para necessidade de calagem.

De acordo com esses autores a baixa variabilidade dos índices de pH em água e SMP decorre da distribuição uniforme da palhada e do calcário na superfície do solo.

Trabalhos de SCHLINDWEIN & ANGHINONI (2000), confirma os mesmos índices de variabilidade horizontal, para os índices de pH em água e SMP, demonstrando um coeficiente de variação menor que 10%.

Quanto a variabilidade vertical, ANGHINONI & SALET, (1995), demonstram que a decomposição de resíduos e a reação dos adubos nitrogenados na superfície do solo formam uma “frente de acidificação”, que aumenta em profundidade, e paralelamente ocorre aumento do teor de alumínio trocável. Paralelamente à essa diminuição do pH, ocorre um acúmulo do teor de alumínio trocável e aumento da necessidade de calcário. (MIYAZAWA et al., 1992).



No caso da aplicação de calcário na superfície, sem incorporação, onde ocorre concentração de cálcio e magnésio trocáveis e elevação do pH, principalmente na camada superficial, e gradativamente, com o passar do tempo, em maiores profundidades.

Pesquisas já realizadas demonstraram que a amostragem de solo na camada de 0-20 cm de profundidade no sistema de plantio direto apresentaram valores semelhantes aos do sistema convencional com grade aradora para pH, Ca, P e K. (SILVEIRA & STONE, 2002).

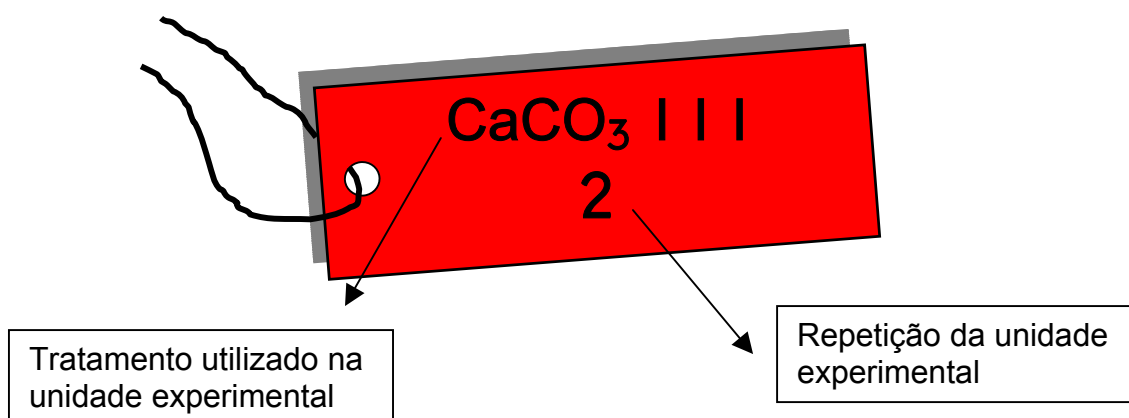
As recomendações de adubação e de calagem, em uso no Brasil, foram construídas para o sistema convencional de preparo do solo, considerando os índices de fertilidade de amostras de solo retiradas da camada mobilizada (arável), geralmente, de 0-20 cm. Entretanto, mediante a utilização do plantio direto, ocorrem alterações nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, em comparação ao sistema convencional, afetando consideravelmente os índices de fertilidade, alterando as recomendações de adubo e de calagem (ANGHINONI & SALET, 1998). Mas devido a similaridade da configuração das curvas de rendimento das culturas nos sistemas plantio direto e convencional, a dinâmica de estabelecimento, os elevados custos e tempo de obtenção das curvas de calibração no sistema plantio direto, levaram à procura de alternativas de ajuste em relação ao sistema convencional, ao invés de construir novas tabelas para o sistema plantio direto. Dentre as alternativas sugeridas (ANGHINONI & SALET, 1998), o ajuste da profundidade tem movido várias pesquisas que relacionam a similaridade de rendimento das culturas nos dois sistemas, demonstrado por PETRERE et al. (1996), mostrou ser a alternativa mais prática e viável em curto prazo.

Para este ensaio optou-se pela profundidade de 0-20 cm por considerar o fato da deformação das amostras em seu manuseio de preparo, bem como a utilização de solo em seu estado natural.

## 5.5 PREPARO DAS AMOSTRAS E UNIDADES EXPERIMENTAIS

Após a coleta, os solos foram expostos ao ar, à sombra, para perderem o excesso de água. Logo em seguida foram, destorroados e peneirados em malha de 2 mm de abertura. Cada uma das amostras foi subdividida em 28 subamostras e acondicionados em sacos plásticos devidamente identificados (Figura 11), com quantidade média de 1,5 kg de solo cada, sendo parte de cada amostra separada para a caracterização química e física do solo. Foi determinado o teor de água dos solos. Nas 28 amostras de cada solo foram aplicados os tratamentos, conforme descrito no Anexo 1.

FIGURA 11 – MODELO DE IDENTIFICAÇÃO DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS



Exemplo: Etiqueta de cor vermelha corresponde ao solo de Arapoti, tratamento com CaCO<sub>3</sub> na dosagem correspondente a 6.000 kg/ha em 20 cm de profundidade, e repetição de número 2 de uma série de 4.

A título de ilustração consta na Figura 12 imagem das unidades experimentais depositadas em bancada, destacando o sistema de identificação utilizado.

FIGURA 12 – UNIDADES EXPERIMENTAIS DEPOSITADAS EM BANCADA, DESTACANDO IDENTIFICAÇÃO



## 5.6 TRATAMENTOS UTILIZADOS E INCUBAÇÃO DO SOLO

Para este ensaio, amostras de solo foram incubadas com doses crescentes de Carbonato de Cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). As doses de Carbonato de Cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) foram homogeneizadas de forma igualitária nos tratamentos, e receberam água a 80% do teor de água retido na capacidade de campo de cada solo, o suficiente para manter a umidade gravimétrica do solo, com base em análise de capacidade de retenção. As doses foram estipuladas de acordo com os métodos de determinação de calagem  $\text{Al} \times 2$ ,  $\text{V}\%70$ ,  $\text{V}\%80$ ,  $\text{SMP}5,5$ ,  $\text{SMP}6,0$  e  $\text{SMP}6,5$  (Tabela 7). Os tratamentos corresponderam às menores e maiores doses recomendadas, sendo distribuídas de forma equidistantes, a fim de se obter as curvas de neutralização, com quatro repetições. Os tratamentos foram, portanto, resultantes da combinação de 06 recomendações de quantitativos com 4 níveis de  $\text{CaCO}_3$ .

Cada unidade experimental foi constituída por uma embalagem plástica, com fecho plástico, com capacidade de 1,5 kg. Os sacos plásticos foram distribuídos

numa bancada, ao abrigo da luz, seguindo-se um delineamento completamente casualizado, segundo tabela de randomização conforme NATRELLA (1966), com quatro repetições.

As unidades experimentais constituíram os suportes para a incubação do solo, que segundo diversos autores como (VETTORI, 1966), constitui a forma mais conveniente de calibrar o método do pH SMP, e tem sido usado como padrão para calibrar métodos mais rápidos de determinação de acidez do solo.

Cada unidade experimental foi incubada em saco plástico com respiro através de canudo plástico para refresco, onde cada tipo de solo foi separado em lotes segundo a localidade de amostragem e randomizados em blocos ao acaso.

Quando os sacos foram abertos para coleta de alíquotas a serem usadas nas análises semanais, permaneceram abertos por aproximadamente 20 minutos para a promoção da aeração do solo e conseqüente troca de gases.

Os solos permaneceram incubados durante período de 29 semanas, sendo as determinações de pH realizadas a cada 7 dia nas primeiras 10 semanas, sendo a última leitura feita na 29ª semana, após um intervalo de 19 semanas. Na Tabela 6 é demonstrado as datas correspondentes as Épocas em que os solos foram submetidos a incubação.

TABELA 6 – DEMONSTRATIVO DE ÉPOCA DE INCUBAÇÃO COM DATAS

Época	Data	Ocorrência
Época 0	26/04/04	Início da incubação dos solos com adicionamento de $\text{CaCO}_3$
Época 1	03/05/04	
Época 2	10/05/04	
Época 3	17/05/04	
Época 4	24/05/04	
Época 4	31/05/04	
Época 6	07/06/04	
Época 7	14/06/04	
Época 8	21/06/04	
Época 9	28/06/04	Estabilização do pH
Época 10	08/11/04	

Com os resultados de pH em obtidos traçou-se a curva de neutralização dos solos, relacionando-se as doses de  $\text{CaCO}_3$  aplicadas aos valores de pH obtidos.

Com tais curvas, estimou-se a necessidade de calagem para elevar o pH de cada solo até 5,5, 6,0 e 6,5.

Para a elaboração da curva de neutralização foi utilizado os dados da 10ª semana (Época 9) onde verificou-se a estabilização da acidez dos solos incubados.

As necessidades de calagem dos cinco solos estudados foram estimadas através das curvas de neutralização e co-relacionadas aos valores de pH SMP.

## **5.7 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS DE ACIDEZ ATIVA E POTENCIAL DO SOLO**

Nestes trabalhos, observou-se, que dentre os modelos matemáticos utilizados para relacionar os valores de  $H + Al$  e o pH SMP, predominam os que usam regressão exponencial e polinomial de segunda ordem. As diferentes equações de correlação obtidas nesses trabalhos evidenciam a influência de algumas características dos solos na relação entre estas variáveis. Neste contexto, ESCOSTEGUY & BISSANI (1999) ressaltam a necessidade de regionalização dos estudos, em virtude da variação do poder-tampão entre solos de diferentes composições, com destaque para o teor e tipo de matéria orgânica, textura, tipo e quantidade de minerais da fração argila e pH. Ainda, de acordo com PAVAN et al. (1996) e QUAGGIO & RAIJ (2001), o uso deste método deve ser precedido de uma regionalização edafológica prévia, para obter curvas de calibração específicas.

As determinações para este estudo foram efetuadas nas dependências do Laboratório de Química e Fertilidade do Solo (LQFS), do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola (DSEA) da UFPR, em 2004.

As determinações das análises granulométricas foram realizadas pelo método da pipeta de acordo com os procedimentos apresentados pela EMBRAPA (1997).

Os métodos de análise de acidez ativa e potencial dos solos estudados seguiram metodologia descrita por TEDESCO et al. 1995.

O pH foi determinado potenciometricamente, utilizando-se um pH-metro, marca Metrohm Herisau – E 350B.

Em todas as amostras e tratamentos, foram feitas determinações medindo o pH desses solos semanalmente, pelos métodos de pH em água (acidez ativa), pH SMP (acidez potencial), e em  $\text{CaCl}_2$  0,01 M (acidez potencial), na relação solo/água ou solo/ $\text{CaCl}_2$  de 1:2,5. Sendo essa determinação repetida em intervalos iguais até que se verificou a estabilização da acidez, a qual ocorreu no Época 9 do início da incubação.

Para aferição das leituras foi usado amostra padrão de solo a cada semana (Época 0 ao Época 9, e no Época 10) de leitura.

#### **5.7.1 Determinação da acidez ativa pelo método de $\text{CaCl}_2$ 0,01 mol/L**

As análises químicas efetuadas são descritas e comentadas abaixo, e têm como base a metodologia descrita por PAVAN et al. (1992).

A determinação do pH foi efetuada pesando-se alíquota de 10 gr de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) de cada um dos tratamentos, para frasco plástico de 50 mL devidamente numerados, e adicionou-se 25 mL de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol/L, em uma relação 1:2,5 (proporção de Terra e  $\text{CaCl}_2$ ).

Tais alíquotas foram submetidas a agitador circular por período 15 min, a 220 rpm, e deixadas em repouso durante 30 minutos.

Foi efetuado leitura após calibração do potenciômetro com solução padrão de pH 7,0 e pH 4,0 (+ ou - 0,01 temperatura de referência 25°C).

Entre cada leitura, foi lavado o eletrodo com água deionizada, com auxílio de pisceta, e enxugado levemente com papel toalha de textura fina.

Os dados obtidos pela leitura eram anotados em formulário conforme modelo Anexo 2.

Para a preparação da solução de cloreto de cálcio 0,01 mol/L foi dissolvido 1,47 g de  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  em água deionizada e completado o volume para 1 litro. Tomando-se o cuidado para a boa mistura utilizando bastão de vidro, sendo o pH da solução ajustado para 5,5 com ácido acético.

A calibração foi feita após aquecimento prévio do potenciômetro e as soluções padrão foram retiradas da geladeira com antecedência de forma a estarem à temperatura ambiente no instante da calibração. No uso dos eletrodos combinados

o diafragma lateral, que corresponde à saída do eletrodo de referência, ficou devidamente coberto de líquido.

### **5.7.2 Procedimento para determinação de pH pelo método da solução tampão SMP**

Na mesma amostra em que foi feito o pH  $\text{CaCl}_2$ , adicionou-se 5 ml de solução SMP, imediatamente após a leitura do pH  $\text{CaCl}_2$ , agitando-se em agitador circular por 15 minutos, a 220 rpm, e deixando-se em repouso por no mínimo 10 horas.

No dia seguinte, procedeu-se à leitura do pH de equilíbrio da suspensão de solo com solução-tampão, sendo que antes da leitura de cada alíquota, agitou-se novamente com bastão de vidro.

Foi efetuada a calibração do potenciômetro com soluções padrão de pH 7,0 e pH 4,0 (+ ou - 0,01 temperatura de referência 25°C).

Os dados obtidos pela leitura foram anotados em formulário conforme modelo Anexo 2.

Para a preparação da solução tamponada SMP, colocou-se em balão volumétrico de 1 litro, nesta ordem: 106,2 g de cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ), 6,0 g de dicromato de potássio ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ), 4,0 g de acetato de cálcio ( $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2$ ) e 5,0 mL de trietanolamina. Acrescenta-se água. Separadamente, dissolve-se 3,6 g de p-nitrofenol em cerca de 200 mL de água quente, filtrando, se houver impurezas.

Acrescenta-se esta solução ao balão volumétrico, completa-se o volume e agita. No dia seguinte, ajusta-se o pH a 7,5 com NaOH 40% ou HCl 1+1. Manteu-se a solução em refrigerador. Verificando-se ocasionalmente o pH, foi corrigindo quando necessário segundo RAIJ e QUAGGIO (1983).

### **5.7.3 Determinação do pH SMP**

A solução SMP (Shoemaker, Mclean & Pratt) consiste numa mistura de sais neutros com vários tampões, com o objetivo de se obter um decréscimo linear do pH, quando titulada potenciometricamente com ácido forte. A solução-tampão SMP foi desenvolvida inicialmente para ser utilizada em um método rápido de determinação

de calagem, por Shoemaker et al. (1961), obtendo-se um índice SMP baseado na mudança de pH da solução tamponada em face da acidez potencial do solo, e este é correlacionado com a quantidade de calcário necessária para atingir valores de pH compatíveis com as diversas culturas, o que foi calibrado em estudos na Região Sul do Brasil. O índice SMP apresenta alta correlação com o valor de  $H^+ + Al^{3+}$  (acidez potencial dos solos), o que tem sido utilizado no Estado de São Paulo e em outros do Centro-Oeste brasileiro como um dos critérios para a recomendação da calagem.

No Estado de São Paulo é associado ao pH em  $CaCl_2$ , sendo os procedimentos descritos à seguir:

- Retomar a suspensão em que foi determinado o pH em  $CaCl_2$  0,01 M e adicionar exatamente 5,0 mL da solução-tampão SMP;
- Agitar a 220 rpm durante 15 minutos e deixar em repouso por uma hora;
- Calibrar o potenciômetro com as Soluções Tampões 7,00 e 4,00 (+ ou – 0,01, Temp. ref. 25°C), tomando os mesmos cuidados do item anterior, e ler o pH de equilíbrio da suspensão-tampão, denominado pH SMP.

#### Observação

Os teores de  $H^+ + Al^{3+}$  são obtidos pela resolução de equações de regressão especificamente calibradas para a sua região ou Estado, para valores de pH em SMP espaçados de 0,05 unidade.

Nos Estados do Sul do Brasil é associado ao pH em água, e os procedimentos os seguintes:

- Medir 10 mL de solo em copo de plástico;
- Adicionar 10 mL de água destilada e agitar com bastão de vidro;
- Deixar em repouso por 30 minutos;
- Agitar novamente e determinar o pH;
- Adicionar 5 mL da solução SMP e agitar com bastão de vidro;
- Deixar em repouso por 20 minutos;
- Agitar novamente, calibrar o potenciômetro com as Soluções Tampões 7,00 e 4,00 (+ ou – 0,01, Temp. ref. 25°C), tomando os mesmos cuidados do item anterior, e ler o pH de equilíbrio da suspensão-tampão, denominado pH SMP (índice SMP).



### 5.7.3.1 Reagentes e soluções

Solução-tampão SMP (para 4 L)- Pesar 14,58 g de p-nitrofenol e dissolver em aproximadamente 400 mL de água destilada quente (50° a 60°C) em béquer de 1.000 mL. Colocar aproximadamente 500 mL de água destilada em béquer de 4.000 mL e, agitando com um bastão de vidro ou agitador magnético e colocando água destilada gradativamente entre um reagente e outro, adicionar na sequência: 20,0 mL (com proveta) de trietanolamina; 24,0 g de cromato de potássio ( $K_2CrO_4$ ); 8,0 g de acetato de cálcio ( $Ca(CH_3COO)_2$ ); e 424,0 g de cloreto de cálcio -  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ . Adicionar a solução de p-nitrofenol preparada. Juntar água destilada até aproximadamente 3.000 mL. Misturar bem com um bastão de vidro e ajustar o pH para 7,5 com NaOH 1,0 M ou HCl 1,0 M. Transferir para um recipiente de plástico com capacidade para 2 balões de volume de 2.000 mL. Completar o volume de cada balão e agitar. Transferir para um recipiente de plástico com capacidade para 4,0 L e agitar bem. Guardar essa solução por 7 a 10 dias antes do uso, agitando de vez em quando, e depois acertar novamente o pH;

Solução-padrão pH 4,00- Diluir a solução-padrão conforme orientação do fabricante;

Solução-padrão pH 7,00- Diluir a solução-padrão conforme orientação do fabricante.

### 5.7.3.2 Cálculo

Leitura direta no aparelho para a obtenção do índice ou do pH SMP. Depois de obtido esse valor, dois tipos básicos de cálculos podem ser empregados a partir do índice SMR. O teor de  $H^+ + Al^{3+}$  do solo pode ser calculado, usando-se uma equação previamente ajustada para o Estado em questão, ou pode-se estimar diretamente a necessidade de calcário, como é feito nos Estados do Sul do Brasil.

### 5.7.4 pH EM ÁGUA

A determinação do pH foi efetuada pesando-se alíquota de 10 gramas de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) de cada um dos tratamentos, para frasco plástico de 50 mL devidamente numerados, e adicionou-se 25 mL de água deionizada.

Tais alíquotas foram submetidas a agitador circular por período de 15 minutos, a 220rpm, e deixadas em repouso por mais meia hora.

Foi usado soluções padrão pH 4,00 e pH 7,00 (+ ou - 0,01, temperatura de referência de 25°C). para aferir o potenciômetro com eletrodo combinado usado para as determinações, o qual foi ligado 30 minutos antes de começar a ser usado.

Agitado cada amostra com bastão de vidro, e mergulhado os eletrodos na suspensão homogeneizada foi procedido a leitura do pH.

A análise esta baseada na medição potencial eletronicamente por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo:líquido, na proporção de 1:2,5.

Entre uma e outra leitura de pH foi lavado o eletrodo com água deionizada, com auxilio de um pisceta, e enxuga levemente com papel toalha de textura fina.

Os dados obtidos pela leitura eram anotados em formulário conforme modelo Anexo 2.

## **5.8 MÉTODOS DE RECOMENDAÇÃO DA NECESSIDADE DE CALCÁRIO TESTADOS**

Para cada solo foi efetuado o cálculo de necessidade de calagem pelos métodos de Saturação de Bases – V%; Alumínio – Al x 2 e Tampão SMP – pH SMP, e ajustados às dosagens em que as amplitudes entre os tratamentos permanecessem eqüidistantes.

Os parâmetros estabelecidos nos cálculos do pH SMP serão a fim de atingir pH em água 5,5; 6,0 e 6,5. Para o cálculo V% os parâmetros foram prevendo uma saturação de 70 e 80%.

Para efeito de cálculos, foi considerada a massa de um hectare como sendo de 2.000 toneladas, sendo doses correspondentes em t/ha aplicadas nas subamostras com respectivo peso conhecido.

O método da incubação com doses crescentes de  $\text{CaCO}_3$  foi tomado como padrão para comparação com os demais métodos.

**TABELA 7 - DOSES DE  $\text{CaCO}_3$  APLICADAS COM BASE NOS MÉTODOS ALUMÍNIO TROCÁVEL, SATURAÇÃO DE BASES (V%) E ÍNDICE SMP UTILIZADO COMO REFERÊNCIA PARA O ESTABELECIMENTO DOS TRATAMENTOS**

AMOSTRAS	Al x 2	V% para 70%	V% para 80%	pH SMP 5,5	pH SMP 6,0	pH SMP 6,5
..... Mg ha <sup>-1</sup> .....						
Arapoti	1,60	3,65	4,46	2,80	4,50	6,20
Ponta Grossa	0,60	1,80	2,66	0,60	1,70	2,70
Palmeira	1,40	2,00	2,89	1,00	2,20	3,40
Contenda	4,40	5,76	6,77	5,50	8,30	10,60
Cascavel	3,52	8,69	10,15	9,60	13,30	17,50

NOTA: A recomendação das doses foi baseada na camada de 0 a 20 cm.

**TABELA 8 - DOSAGENS AJUSTADAS EQUIDISTANTES, CALCULADAS SEGUNDO ACIDEZ ATIVA (pH EM  $\text{H}_2\text{O}$ ) EM Kg/ha**

SOLO	Testemunha	Dose I	Dose II	Dose III	Dose IV
Arapoti	0	1500	3000	6000	12000
Ponta Grossa	0	625	1250	2500	5000
Palmeira	0	875	1750	3500	7000
Contenda	0	2500	5000	10000	20000
Cascavel	0	4375	8750	17500	35000

## 5.9 ESTIMATIVA DE CALAGEM PELO MÉTODO SMP

### 5.9.1 Estimativa de calagem pelo método SMP para os solos estudados

Para este ensaio, amostras de solo foram incubadas com doses crescentes de  $\text{CaCO}_3$ , estipuladas em função das necessidades de calcário descritas na Tabela 7 e distribuídas de forma equidistante, conforme demonstradas na Tabela 8 a fim de se obter as curvas de neutralização, com quatro repetições. Os tratamentos foram resultantes da combinação de 5 solos com 4 níveis de  $\text{CaCO}_3$ .

Com os resultados de pH em água obtidos traçou-se a curva de neutralização dos solos, relacionando-se as doses de  $\text{CaCO}_3$  aplicadas aos valores de pH obtidos. Com tais curvas, estimou-se a necessidade de calagem para elevar o pH de cada solo até 5,5, 6 e 6,5.

As necessidades de calagem dos solos estimadas através das curvas de neutralização foram relacionadas aos valores de pH SMP, medidos com 5 ml de solução SMP, para calibrar o método SMP. As leituras do pH após adição da solução SMP nas amostras testemunhas foram comparadas com as doses de  $\text{CaCO}_3$

estabelecidos pelas curvas de neutralização, tendo como resultados os valores apresentados na Tabela 14.

As relações entre o pH SMP, para cada um dos cinco solos estudados, e as doses de calcário necessárias para elevar o pH dos solos para 5,5, 6,0 e 6,5 são apresentadas na Tabela 14. As equações de regressão e os coeficientes de determinação destas relações estão apresentadas na Tabela 9.

Utilizou-se para a elaboração da curva de neutralização os dados da 10ª semana (Época 9), pois segundo REDE... (1994), a velocidade de reação de cada fração depende do diâmetro das partículas. Resultados de pesquisas de campo indicam que as partículas menores que 0,053 mm (peneira 270 “mesh”) reagem completamente em menos de 1 mês e partículas entre 2 e 0,84 mm (peneiras 10 e 20 “mesh”) necessitam de tempo maior que 60 meses para reação completa (TEDESCO et al., 1988). A partir destas conclusões resolveu-se então, trabalhar com os resultados da Época 9, pois entendendo ser o  $\text{CaCO}_3$  material com granulometria fina, contendo partículas menores que 0,053 mm, tendo por consequência reações ocorrerem de forma rápida.

Também a partir da análise temporal das curvas de neutralização dos solos, observou-se um incremento do pH logo após a primeira semana de incubação, seguido por pontos de estabilização com leve variação nas semanas seguintes, tendo como ponto de estabilização das reações do solo aos 65 dias de incubação ou seja, o Época 9 (Anexo 03). Tais resultados são confirmados por trabalho de GALVÃO (1994) que em trabalho semelhante de calibração do método SMP, observou a estabilização das curvas de neutralização ocorrida com 71 dias.

Após as determinações de pH em água obtidos traçou-se a curva de neutralização dos solos, relacionando-se as doses de  $\text{CaCO}_3$  aplicadas aos valores de pH obtidos. Com tais curvas, estimou-se a necessidade de calagem para elevar o pH de cada solo até 5,5, 6,0 e 6,5.

As necessidades de calagem dos solos estimadas através das curvas de neutralização foram relacionadas aos valores de pH SMP, para calibrar o método SMP.

TABELA 9 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ( $r^2$ ), E EQUAÇÃO DE REGRESSÃO DE CADA MÉTODO, OBTIDA POR INCUBAÇÃO, PARA ELEVAR O pH DOS CINCO SOLOS A VALORES PRÉ-ESTABELECIDOS

Solo	Método	Equações	r
Contenda	pH H <sub>2</sub> O	$y = 0,1231x + 5,1448$	0,99
	pH CaCl <sub>2</sub>	$y = 0,1253x + 4,4559$	0,99
	pH SMP	$y = 0,103x + 5,4187$	0,93
Palmeira	pH H <sub>2</sub> O	$y = 0,1214x + 5,3453$	0,98
	pH CaCl <sub>2</sub>	$y = 0,1714x + 4,104$	0,99
	pH SMP	$y = 0,1454x + 5,2383$	0,99
Ponta Grossa	pH H <sub>2</sub> O	$y = 0,1438x + 5,5064$	0,94
	pH CaCl <sub>2</sub>	$y = 0,2416x + 4,843$	0,98
	pH SMP	$y = 0,1462x + 6,2614$	0,99
Arapoti	pH H <sub>2</sub> O	$y = 0,1647x + 5,329$	0,98
	pH CaCl <sub>2</sub>	$y = 0,1795x + 4,7843$	0,97
	pH SMP	$y = 0,0993x + 5,997$	0,94
Cascavel	pH H <sub>2</sub> O	$y = 0,0531x + 4,8086$	0,98
	pH CaCl <sub>2</sub>	$y = 0,0731x + 4,3259$	0,99
	pH SMP	$y = 0,0609x + 5,0005$	0,99

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS SOLOS ESTUDADOS

As análises de rotinas foram realizadas e as determinações foram efetuadas nas dependências do Laboratório de Química e Fertilidade do Solo (LQFS), do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola (DSEA) da UFPR. Para fatores descritos a seguir foi seguido metodologias propostas por PAVAN et al. (1992) e Silva (1999). O pH  $\text{CaCl}_2$ ; e Cálcio e Magnésio ( $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) trocáveis extraídos com KCl 1 mol  $\text{L}^{-1}$  e determinados por espectrofotometria de absorção atômica (EAA); A acidez titulável ( $\text{H}^0 + \text{Al}^{3+}$ ) por correlação com pH SMP. O Alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) extraído com KCl 1 mol  $\text{L}^{-1}$  e determinado por titulação com NaOH 0,025 mol  $\text{L}^{-1}$ . O Fósforo e o Potássio (P e  $\text{K}^+$ ) extraídos com Mehlich-1, sendo P determinado por colorimetria e  $\text{K}^+$  por fotometria de chama. O Carbono (C) extraído com  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  e determinado colorimetricamente. O pH em água (1:2,5) e em solução SMP foram determinados pelos métodos de rotina do laboratório de solos (TEDESCO et al., 1995); Com base nessas determinações, foram calculadas a capacidade de cátions efetiva (CTCe) e total (CTCt), e a percentagem de saturação de bases (V%).

Na Tabela 10 tem-se a caracterização química dos solos logo após a coleta, observa-se, na referida Tabela, há uma variação entre os solos, sendo fator benéfico para a estimativa de calagem pelo método proposto. Os solos apresentam índices de acidez medidos pelo pH  $\text{H}_2\text{O}$  de 4,2 a 5,5 e pH  $\text{CaCl}_2$  de 3,80 a 4,53 considerado por EMATER-PR (1998), como teores baixos para os solos destas regiões. Quanto as bases trocáveis, observa-se teores no solo de Ca + Mg de 0,87  $\text{cmol}_\text{c}/\text{dm}^3$  (Contenda) a 2,31  $\text{cmol}_\text{c}/\text{dm}^3$  (Palmeira), valores sugerido por EMATER-PR, (1998) como baixos. Os teores de Ca variam de 0,43  $\text{cmol}_\text{c}/\text{dm}^3$  (solo de Contenda) a 1,36  $\text{cmol}_\text{c}/\text{dm}^3$  (solo de Ponta Grossa), também sugerido como baixos por EMATER-PR, (1998).

Observa-se que para o solo de Palmeira o valor de P (extraído pela solução de Mehlich) de 26,63  $\text{mg}/\text{dm}^3$  encontra-se acima do normal, os valores normais segundo EMATER-PR, (1998) seriam de 6 a 12  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , tal fato pode ser explicado pelo tipo de rocha que forma os solos da região ou devido ao efeito residual de adubação na área de coleta desta amostra. Sendo a segunda hipótese mais provável,

já que para o solo de Ponta Grossa, município próximo com mesma formação de solo, os valores de P (3,10 mg/dm<sup>3</sup>) são considerados baixos por EMATER-PR, (1998). Para os demais solos os valores de P correspondem a 1,10 a 3,10 mg/dm<sup>3</sup> sugeridos como baixos por EMATER-PR, (1998).

Notam-se que os teores de K foram em geral baixos de 0,12 a 0,27 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, segundo EMATER-PR, (1998).

Conforme se observa na Tabela 10 os teores de Al trocáveis foram médios, variando de 0,30 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> (solo de Ponta Grossa) sugerido como baixo por EMATER-PR, (1998), e 2,17 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> (solo de Contenda) sugerido por EMATER-PR, (1998) como para este tipo de solo.

TABELA 10 – PROPRIEDADES QUÍMICAS DOS CINCO SOLOS NA ÉPOCA 0

Solos	Prof. (cm)	pH H <sub>2</sub> O	pH CaCl <sub>2</sub>	pH SMP	H+Al	Al	Ca	Mg	K	CTC Total	CTC Efetiva	P	V	MO
----- (cmol <sub>c</sub> /kg) -----											(mg/kg)	(%)	(g/kg)	
Contenda	0-20	4,70	3,80	5,23	8,83	2,17	0,43	0,44	0,13	10,13	3,53	1,10	13,13	40,99
Palmeira	0-20	4,80	4,40	6,07	4,73	0,70	1,24	1,07	0,23	9,03	5,03	26,63	47,95	44,55
Ponta Grossa	0-20	5,20	4,53	6,17	4,37	0,30	1,36	0,49	0,27	8,67	4,57	3,10	49,25	37,50
Arapoti	0-20	5,50	4,03	5,73	6,07	0,77	1,15	0,41	0,16	8,16	2,86	2,37	25,25	35,78
Cascavel	0-20	4,20	4,10	4,70	13,07	1,76	0,91	0,47	0,12	14,57	1,50	1,71	10,30	40,56

Os maiores valores de CTC Total (T) foram verificados nos solos de Ponta Grossa e Palmeira e devem-se, principalmente, aos teores de Ca + Mg nesses solos.

Observa-se que, conforme a Tabela 10, a percentagem de saturação de bases (V%) é baixa para a maioria dos solos variando entre 10,30 a 49,25%. Em dois deles (Ponta Grossa e Palmeira) a percentagem aproxima-se de 50% (o valor que classifica os solos minerais como férteis é de 50%) sendo considerados por EMATER-PR, (1998) como valor médio para V%.

A identificação pedológica, conforme LARACH et al., (1984), esta contemplada na Tabela 11, bem como identificada no mapa de solos de cada município no Anexo 6.

TABELA 11 – UNIDADES DE SOLO ESTUDADOS

<b>Local de amostragem (Solos)</b>	<b>Horizonte</b>	<b>Profundidade amostrada (cm)</b>	<b>Unidade de mapeamento</b>	<b>Descrição</b>
Contenda	A	0-20	LVa1	Latossolo Vermelho Amarelo
Palmeira	A	0-20	Ca23	Cambissolo Álico
Ponta Grossa	A	0-20	LEa8	Latossolo Vermelho Escuro Álico
Arapoti	A	0-20	LEa6	Latossolo Vermelho Escuro Álico
Cascavel	A	0-20	LRa1	Latossolo Roxo Álico

### 6.1.1 Análise Granulométrica dos solos estudados

Os solos de Arapoti, Ponta Grossa e Palmeira apresentaram alto teor de areia, confirmando a característica de textura arenosa dos solos desta região em virtude do material de origem destes solos oriundos do arenito basáltico oriundos dos sedimentos devonianos pouco argiloso conforme demonstrado por MAACK (1946).

O teor de silte no solo de Cascavel apresentou-se elevado, ficando em 33% (Tabela 12). Esse valor é superior ao encontrado por NETTO (1996) em Latossolos originários do basalto da Região Sul do Brasil. Este valor na fração silte no solo de Cascavel deve-se provavelmente pela ineficiência do método de dispersão para solos com altos teores de óxidos de ferro e gibbsita, conforme observado por MELO et al. (2000). Embora não tenha sido analisado a constituição da fração silte, acredita-se que seja constituída em grande parte por partículas de minerais da fração argila com alta estabilidade, sendo cimentados pelos óxidos de ferro e alumínio, conforme observado por GHIDIN (2003).

### 6.1.2 Incubação dos solos com carbonato de cálcio

A incubação dos solos com doses crescentes de carbonato de cálcio puro, tem sido utilizada em inúmeros trabalhos como método padrão para comparação da necessidade de calcário com outros métodos (SCHOEMAKER et al, 1961; FREITAS et al, 1968; DEFELIPO et al, 1972; KAMINSKI, 1974).



TABELA 12 – GRANULOMETRIA DOS SOLOS ESTUDADOS

Solos	Prof. (cm)	Areia	Silte	Argila	Classe
		-----	(%) -----		
Contenda	0-20	26,0	28,0	46,0	Argiloso
Palmeira	0-20	60,0	24,0	16,0	Média
Ponta Grossa	0-20	65,0	17,0	18,0	Média
Arapoti	0-20	63,0	19,0	18,0	Média
Cascavel	0-20	2,0	32,7	65,0	Muito Arg.

Os dados de pH em H<sub>2</sub>O e pH em CaCl<sub>2</sub> permitiram avaliar a evolução do pH nestas duas soluções em função do carbonato de cálcio aplicado, obtendo-se deste modo curvas de neutralização para todas as amostras. A curva de neutralização obtida para a amostra de solo de Arapoti é mostrada na Figura 13, a título de exemplo.

### 6.1.3 Curvas de neutralização dos solos incubados

Os valores de pH em água, CaCl<sub>2</sub> e SMP das amostras de solos, em função das doses de CaCO<sub>3</sub> adicionadas, de todos os solos estão plotadas no Anexo 3. E demonstradas na Figura 13 a título de exemplo.

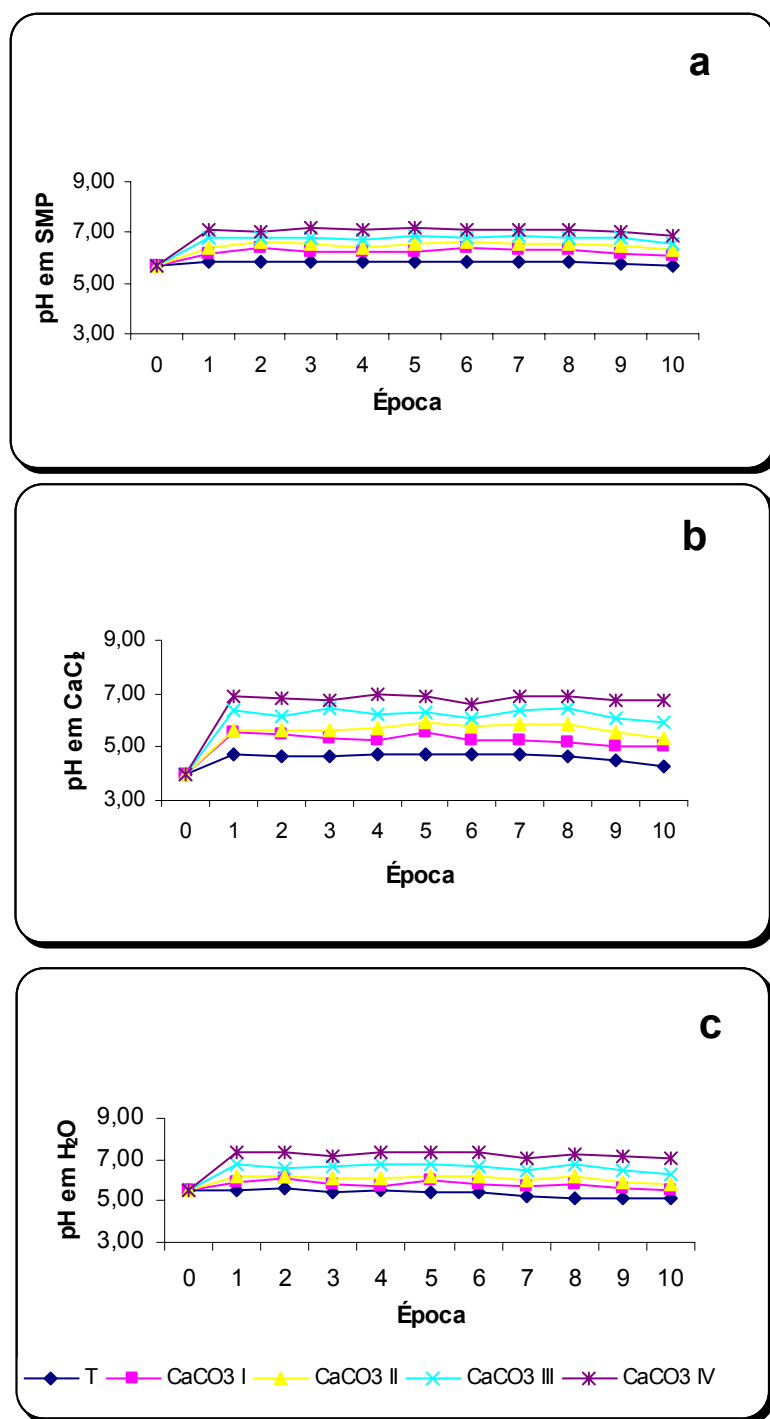
Os dados referentes ao incremento de pH, obtido através de incubação dos solos com doses crescentes de CaCO<sub>3</sub>, demonstram que houve diferenças de resultados entre as dosagens aplicadas I, II, III e IV (descritas no Anexo 3) durante as 11 épocas que o solo foi submetido a incubação entre os métodos de determinação de pH utilizados (pH SMP, pH CaCl<sub>2</sub> e pH em H<sub>2</sub>O). Sendo o comportamento das curvas semelhantes para todos os solos. O que pode ser comprovado pela evolução das curvas de neutralização demonstradas nas Anexo 3. As medidas determinadas de pH, durante o período de incubação, estão apresentadas no Anexo 4.

As doses de CaCO<sub>3</sub> para elevar o pH dos solos para 5,5, 6 e 6,5 são apresentadas na Tabela 8. As equações de regressão e os coeficientes de determinação destas relações estão apresentadas na Tabela 9.

As quantidades de calcário exigidas pelos solos para elevar o pH a valores desejados foram estimadas graficamente a partir das curvas de regressão linear,

como exemplifica na Figura 14, para elevar o pH  $H_2O$  a 5,5, 6,0 e 6,5. As necessidades de corretivo a aplicar a cada solo estimadas desta forma, para atingir aqueles valores de pH, constam na Tabela 13.

FIGURA 13 – CURVAS DE NEUTRALIZAÇÃO DO SOLO DE ARAPOTI DE TODOS OS TRATAMENTOS EM TODAS AS ÉPOCAS PARA MÉTODO DO pH SMP (a), pH  $CaCl_2$  (b) e pH  $H_2O$  (c)



De acordo com a Tabela 13, observa-se que é muito grande a variabilidade dos solos em relação à necessidade da calcário, o que condiz com a variação que os solos minerais apresentam em suas propriedades químicas. Os solos requereram quantidades de  $\text{CaCO}_3$  variando de 1,038 (solo de Arapoti, para atingir pH 5,5) a 11,009 (solo de Contenda, para atingir pH 6,5). Verificam-se que os solos que exigiram maior quantidade de calcário foram os que apresentam conteúdo de matéria orgânica elevada, e conseqüentemente, maior acidez potencial, como o solo de Contenda e Arapoti (8,83 e 6,06  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ , respectivamente). Como a maior parte da acidez potencial advém da MO, essa é a razão da relação entre teores de MO e teores de  $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ .

TABELA 13 - DOSES DE  $\text{CaCO}_3$  NECESSÁRIAS PARA ELEVAR O PH DE CINCO SOLOS DO PR A 5,5, 6,0 E 6,5, ESTIMADAS PELAS CURVAS DE NEUTRALIZAÇÃO

Meta	Doses $\text{CaCO}_3$ para diferentes Solos				
	Contenda	Palmeira	Ponta Grossa	Arapoti	Cascavel
pH $\text{H}_2\text{O}$ a se atingir	----- (Mg/ha) -----				
5,5	2,9	1,3	-0,2	1,0	13,0
6,0	7,0	5,4	3,0	4,1	22,4
6,5	11,1	9,5	6,3	7,1	31,9

Nota-se que solos com pH semelhantes não diferiram muito na necessidade de calagem. O solo de Arapoti, por exemplo, com pH  $\text{H}_2\text{O}$  de 5,5 exigiu apenas 0,2 t/ha de  $\text{CaCO}_3$  a mais que o solo de Ponta Grossa, que tem praticamente o mesmo pH  $\text{H}_2\text{O}$  (5,2). Mas isso parece ser comum nesses solos. De acordo com LUCAS (1982), a quantidade de calcário requerida por unidade de pH varia entre os diferentes solos. Schickluna & Davis (1952), citados por aquele autor, aplicaram igual quantidade de calcário em dois solos de mesmo pH inicial. Num solo, o calcário aplicado elevou o pH de 3,7 para 7, mas no outro o pH aumentou apenas de 3,6 para 5,6. Assim, solos com um mesmo pH podem ter diferentes quantidades de ácidos ligados à fase sólida, que compõem a acidez potencial e então exigir diferentes necessidades de calagem, ou seja, depende do poder tampão do solo, que é muito variável. Disso, é possível deduzir que pequenas variações de pH podem significar

bastante com relação à necessidade de calagem e, conseqüentemente, na disponibilidade de nutrientes às plantas em razão da relação entre calagem e nutrientes disponíveis.

De maneira geral, observa-se que os solos que apresentam maior teor de MO foram os que exigiu maior necessidade de  $\text{CaCO}_3$ , caso do solo de Contenda que para atingir pH em água de 5,5, 6,0 e 6,5 recebeu cerca de 2,88, 6,94 e 11,00 t/ha de  $\text{CaCO}_3$  respectivamente, o que pode ser em decorrência do alto poder tampão desse solo, já que possui elevado teor de MO.

No solo de Ponta Grossa, a pouca quantidade de calcário requerida parece ter sido em função de possíveis aplicações de calcário em algum tempo passado naquela área.

## **6.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA**

Para avaliar os efeitos entre os quatro tratamentos do Carbonato de Cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) que o solo foi submetido As análises estatísticas foram realizadas para a Época 9, levando em consideração a estabilização das reações do solo. Realizou-se para cada método de determinação de pH a Análise de Variância (Anova), sendo que as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 5%. Foram analisadas estatisticamente as seguintes variáveis: pH  $\text{CaCl}_2$ , pH  $\text{H}_2\text{O}$  e pH SMP (distintos métodos de determinação de acidez). Para tanto foi utilizado programa de computador denominado SPSS for Windows 10.0.5 (27 Nov 1999) (SPSS, 1999), sendo os resultados demonstrados abaixo para cada tipo de método de determinação de acidez. Os gráficos de resultados gerados pelo teste são colocados como Anexo 5.

### **6.2.1 Determinação pelo Método pH $\text{CaCl}_2$**

A introdução da leitura do pH em solução 0,01M de  $\text{CaCl}_2$ , no presente trabalho, teve por objetivo, avaliar os possíveis efeitos da produção de sais, provenientes da mineralização da matéria orgânica durante o processo de incubação dos solos. Esse fenômeno afeta os valores de pH em  $\text{H}_2\text{O}$ , já comprovado em outros

trabalhos (RAIJ et al, 1979; Mc LEAN et al, 1966; CURTIN & SMILLIE, 1983). As leituras potenciométricas, por serem feitas sempre na mesma concentração salina, evitariam o possível efeito de sais contidos nas diferentes amostras. A melhor reprodutibilidade dos resultados obtidos pela leitura do pH em solução salina, citada por PEECH (1965a) FASSBENDER (1975) é outro fator que influenciou na sua inclusão neste trabalho.

Os efeitos do  $\text{CaCO}_3$  para todos os solos estudados na metodologia de determinação de pH do  $\text{CaCl}_2$  não houve diferenças entre as épocas 8, 9, 2, 1, 4, 3, 7, 6 e 5, apenas a época 0 que ficou abaixo do resultado das outras épocas sendo esta diferença significativa para o intervalo de 5% em teste de Tukey. Tal resultado estatístico é justificado pelo Época 0 compreender os resultados de pH  $\text{CaCl}_2$  das testemunhas do solo estudado, neste caso sem nenhum tratamento para correção de acidez. Tais resultados são demonstrados no Anexo 5.

#### **6.2.2 Determinação pelo Método pH $\text{H}_2\text{O}$**

O efeito do  $\text{CaCO}_3$ , para esta metodologia em todos os solos e todas as Épocas (0 a 9) para o intervalo de 5% em teste de Tukey, demonstrou que houve maior resultado na correção da acidez na Época 4 e 3. Neste teste também foi verificado que nas Épocas 8, 2, 6, 5, 7 e 1 houve uma boa reação, embora que estatisticamente os resultados sejam semelhantes a Época 4, 3 e 9. A Época 0 foi a menos significativo na correção da acidez, confirmando a característica do solo testemunha sem nenhum tratamento.

#### **6.2.3 Determinação pelo Método pH SMP**

Os resultados deste teste foram semelhante a do método do pH  $\text{CaCl}_2$  comprovando correlação entre os métodos para medir acidez potencial. O efeito do  $\text{CaCO}_3$  testados pelo teste de Tukey, para o intervalo de 5%, para a metodologia de determinação de acidez do pH SMP demonstrou que nas Épocas 1, 4, 9, 3, 5, 8, 7, 2 e 6 houve maior reação e foram estatisticamente iguais. A Época 0 apresentou o menor efeito justificado por ser solo testemunha sem nenhum tratamento. Os resultados são apresentados no Anexo 5.

O efeito dos tratamentos, para as determinações dos resultados obtidos através do método pH SMP, dos solos é mostrado no Anexo 3. Os resultados foram submetidos a análise comparação de médias através do teste de Tukey a 5% de probabilidade (Anexo 5). Na análise de comparação das médias os tratamentos diferem estatisticamente ao nível indicado.

Houve um acentuado aumento de pH com a adição do corretivo em todos os solos e em todos os tratamentos (I, II, III e IV demonstrados no Anexo 4), o que era esperado, dada a alta capacidade dos solos em responderem ao tratamento.

A maior resposta a cerca do incremento de pH para todos os solos ocorreu na Época 0 (26 de abril de 2004), considerado o pico de máxima resposta, também observadas no trabalho de MENGUEL e KIRKBY (1987), possivelmente explicável pela rápida reação, decorrentes da alta solubilidade do carbonato de cálcio puro ocorrida com o contato com o solo. Para RAIJ (1984), o  $\text{CaCO}_3$  pode reagir imediatamente com o solo. Entre a Época 01 (03 de maio de 2004) e 08 (21 de junho de 2004) observa-se pequenas variações de pH para todos os solos, fazendo a curva de neutralização oscilar até alcançar a relativa estabilização na Época 9 (28 de junho de 2004).

Verifica-se que a dose máxima de  $\text{CaCO}_3$  – equivalente a dosagem IV de cada solo, na Época 9 (28 de junho de 2004), elevou o pH SMP de todos os solos a valores superiores a 7, com exceção ao solo de Palmeira com pH SMP de 6,22. Para o pH em  $\text{CaCl}_2$ , analisados também na Época 9 (28 de junho de 2004), os valores médios estabeleceram-se no patamar de 6,50. Os valores de pH em água para todos os solos na Época 9, ficaram acima de 6,20.

Observa-se que o pH medido aumentou em relação direta com o aumento da proporção de  $\text{CaCO}_3$  aplicado, mas o incremento tende a ser decrescente a medida que as dosagens de  $\text{CaCO}_3$  dos tratamentos se assemelham-se.

Para todos os tratamentos a curva de neutralização tende a decrescer a medida do passar das semanas, aproximando-se da estabilização na semana 10, possivelmente devido a acumulação de sais, liberados pela decomposição da matéria orgânica que ocorre durante a incubação dos solos, segundo ERNANI & ALMEIDA (1986).

Em média o pH em  $\text{CaCl}_2$  0,01M ficou cerca de 0,5 unidade menor que o pH em água, confirmando o exposto por FURTINI NETO (2004).

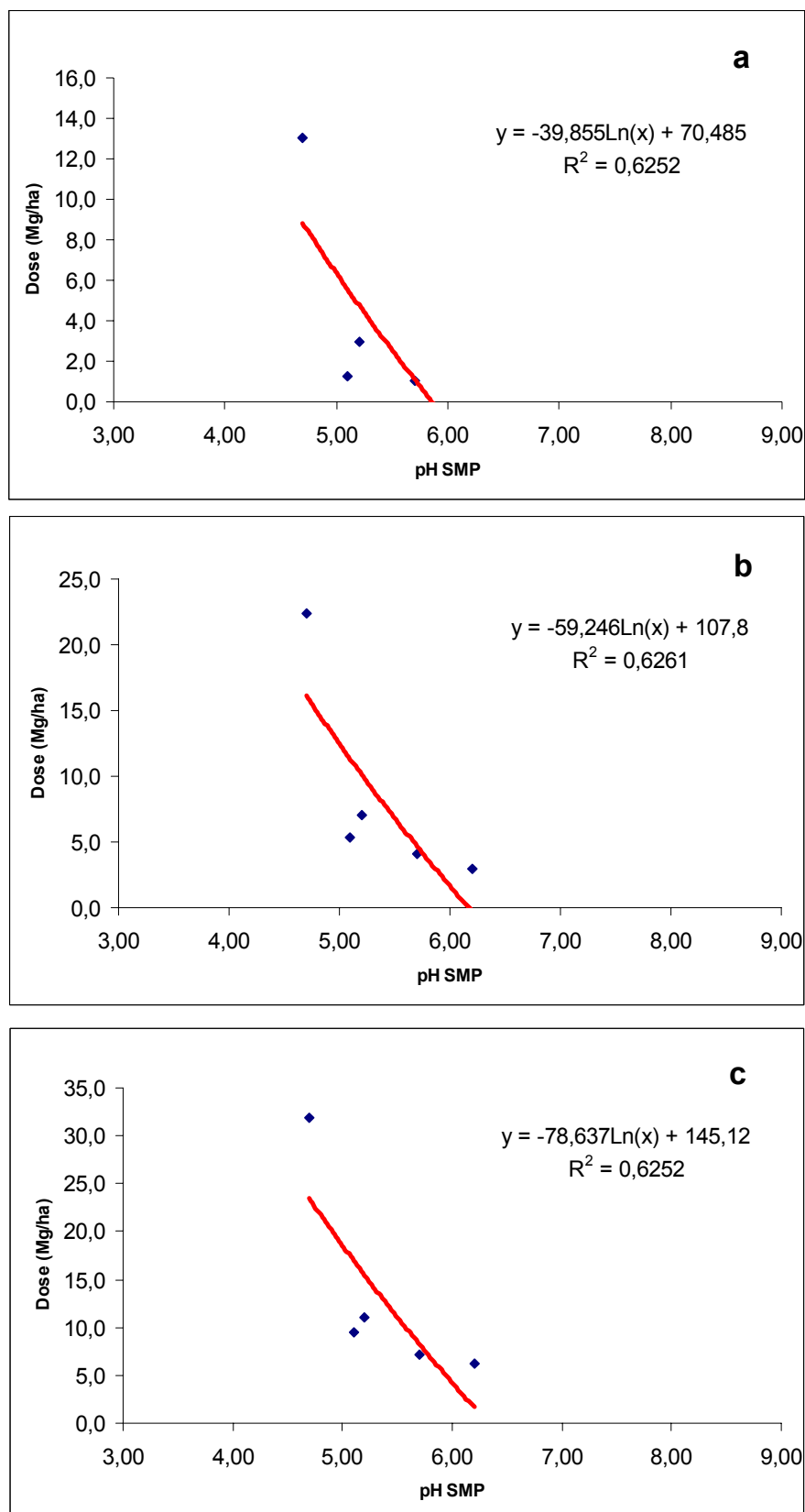
### 6.3 ESTIMATIVA DE CALAGEM PELO MÉTODO SMP PARA OS SOLOS ESTUDADOS

A estimativa de calagem pelo método SMP para os solos em estudo foi feita através da relação entre os valores de pH SMP e as doses de  $\text{CaCO}_3$  estabelecidas pelas curvas de neutralização, para elevar o pH  $\text{H}_2\text{O}$  a valores pré-determinados.

TABELA 14 – RECOMENDAÇÃO PELO SMP PARA SE ATINGIR O pH EM ÁGUA DE 5,5, 6,0 E 6,5

Índice pH SMP	pH em água a atingir		
	5,5	6,0	6,5
	----- (Mg/ha) -----		
4,5	10,5	18,7	26,8
4,6	9,7	17,4	25,1
4,7	8,8	16,1	23,4
4,8	8,0	14,9	21,8
4,9	7,1	13,6	20,1
5,0	6,3	12,4	18,6
5,1	5,6	11,3	17,0
5,2	4,8	10,1	15,5
5,3	4,0	9,0	14,0
5,4	3,3	7,9	12,5
5,5	2,5	6,8	11,1
5,6	1,8	5,7	9,6
5,7	1,1	4,7	8,3
5,8	-	3,7	6,9
5,9	-	2,6	5,5
6,0	-	1,6	4,2
6,1	-	0,7	2,9
6,2	-	-	1,6
6,3	-	-	0,4
6,4	-	-	-
6,5	-	-	-
6,6	-	-	-
6,7	-	-	-
6,8	-	-	-
6,9	-	-	-
7,0	-	-	-
7,1	-	-	-

FIGURA 14 – CURVAS DE NEUTRALIZAÇÃO, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CARBONATO DE CÁLCIO APLICADAS PARA SE ATINGIR O pH EM ÁGUA DE 5,5 (a), 6,0 (b) E 6,5 (c)





As relações entre o pH SMP e as doses de calcário necessárias para elevar o pH  $H_2O$  para 5,5, 6,0 e 6,5 são apresentadas na Figura 14. As equações de regressão e os coeficientes de determinação destas reações estão apresentadas na Tabela 9.

## 7 CONCLUSÕES

1. As equações lineares que melhor estimaram as dosagens de corretivos para se atingir pH 5,5, 6,0 e 6,5 foram respectivamente as seguintes:  $y = -1,3435x^2 + 13,298x - 30,861$  ( $R^2 = 0,6557$ ),  $y = -3,0904x^2 + 32,475x - 79,52$  ( $R^2 = 0,7841$ ) e  $y = -4,8066x^2 + 51,35x - 127,44$  ( $R^2 = 0,8164$ ).
2. Há boa correlação entre o pH SMP e as necessidades de calcário dos solos estudados;
3. Os quantitativos de calcário a aplicar para a correção de acidez dos solos estudados são menores que as quantidades apresentadas pela tabela ROLAS de recomendação de calcário para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina;
4. A utilização do método SMP para a recomendação de quantitativos de calcário necessita de calibração edafológica específica para cada região a ser utilizada;
5. A dosagem correspondente ao tratamento II e III alcançaram níveis de pH parecidos para todos os solos, considerando logística e custo de aplicação, concluímos que a maior dosagem é adequada ao escolher entre os dois quantitativos;

## **8 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Tendo em vista resultados alcançados neste trabalho, recomenda-se a estimativa e calibração edafológica do Método SMP para outras regiões do Estado do Paraná.

## REFERÊNCIAS CONSULTADAS

- ADAMS, F. Crop response to lime in the Southern United States. In: ADAMS, F., ed. **Soil acidity and liming**. Madison: American Society of Agronomy, 1984. p.211-265.
- ADAMS, F. Soil acidity and liming. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** Madison. 2.ed. (Agronomy; no. 12) 380p.1984.
- ADAMS, F.; EVANS, C.E. A rapid method for measuring lime requirement. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** Madison. 26:355-357. 1962.
- ALCARDE, J.C. Qualidade de fertilizantes e corretivos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba. **Adubação, produtividade, ecologia: anais dos simpósios**. Campinas: Fundação Cargil, 1992. p.275-298.
- ANDRETTA, G.C.; MANFIO, D.A.; SANTOS, B.H.; **Valor Bruto da Produção Agropecuária Paranaense em 2003**. Curitiba: SEAB/DERAL. 55p. 2004.
- ANGHINONI, I.; SALET, R.L. Amostragem do solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. (Ed.). **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**, Lages: Núcleo Regional/SBCS, 1998. p.27-57.
- ANGHINONI, I.; SALET, R.L. Variabilidade espacial de propriedades químicas do solo no sistema plantio direto. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, Castro, 1995. **Anais**. Castro: Fundação ABC, 1995. p.279-290.
- ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; BEN, C.G. & MÜLLER NETTO, J.M. **Recomendações de calcário para os solos do Litoral e Vale do Itajaí, Santa Catarina**. Florianópolis: EMPASC, (1987) n.p. Dados não publicados.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; VASCONCELOS, C.A.; SANTOS, H.L.; FRANÇA, G.E.; PITTA, G.V.E.; Nutrição e adubação do milho. In: CRUZ, J.C.; MONTEIRO, J.C.; MONTEIRO, J.A.; SANTANA, D.P.; GARCIA, J.C.; CASTRO FILHO, F.G.F.T.; SANS, L.M.A.; PERIRA FILHO, I.A. **Recomendações técnicas para a cultura do milho**. Brasília: EMBRAPAR-SPI, 1996. p.45-83.
- BANCO REGIONAL DE DESENVOLVIMENTO DO EXTREMO SUL (Porto Alegre, RS). **Indústria de corretivos no extremo sul**. Porto Alegre, 1969. 206p. (BRDE. Estudos Econômicos, 1).
- BARTZ, H.R. Histórico da rede oficial de laboratórios de análises de solo do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: REUNIÃO ANUAL DA REDE OFICIAL DE LABORATÓRIOS DE SOLOS, 25., 1993, Ijuí. **Ata...** Ijuí: UNIJUÍ, 1993.

BHUMBLA, D.R.; Mc LEAN, E.O. Aluminium in soils: VI Changes in pH dependent acidity, cation exchange capacity – and extractable aluminum with additions of lime to acid surface soils. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** Madison. 29:370-374. 1965.

BLACK, C.A. **Relaciones suelo-planta**. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires. Tomo I. 444p. 1975.

BEAR, F.E.; TOTH, S.T. Influence of calcium on availability of other soil cations. **Soil Science**, Baltimore, v.65, n.1, p.69-74, 1948.

BOTELHO DA COSTA, J.V. **Caracterização e Constituição do Solo**. Ed. Fundação Calouste Gulbenkian. 3ª Ed. Lisboa. Portugal, 1985.

BRADY, Nyle C. **Natureza e propriedades dos solos**. Trad. Antônio B. Neiva Figueiredo F.º. 7ª ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 898p. 1989.

BROWN, I.C. A rapid method of determining exchangeable hydrogen and total exchangeable bases of soils. **Soil Sci.** Baltimore. 56:353-357. 1943.

BURNHAM, L.C.; HATFIELD, N.; BENNETT, G.F.; LOGAN, T.J. Use of kiln dust with quicklime for effective municipal sludge pasteurization and stabilization with the N-VIRO Soil process. In: WALKER, JR.; HARDY, T.B.; HOFFMAN, D.C.J.; STANLEY, D.D. **American Society for Testing and Materials**. Philadelphia: ASTM, 1992. p.128-141.

CATE, R. **Sugestões para adubação na base de análise de solo**. Recife: North Carolina State University / International Soil Testing Project, 1965. 16p.

CATANI, R.A.; ALONSO, O. Avaliação da exigência de calcário do solo. Anais da ESC. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz". Piracicaba. 26:141-156. 1969.

CATANI, R.A.; GALLO, J.R. Avaliação da exigência de calcário dos solos do Estado de São Paulo mediante a correlação entre pH e saturação de bases. **Rev. da Agricultura**. Piracicaba. 30:49-60. 1955.

CATE, R.B. Sugestões para adubação com base na análise de solo. North Carolina State University. Int. Soil Testing Project. Raleigh. 16p. 1974.

CIPRANDI, M.A.O.; TEDESCO, M.J.; BISSANI, C.A. & SIQUEIRA, O.J.F. Alteração na recomendação de corretivo para solos dos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. In: 1. REUNIÃO SULBRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 6-8/12/1994, Pelotas, RS. **Anais...** p.40-41.

COLEMAN, N.T.; THOMAS, G.W. The basic chemistry of soil acidity. In: PEARSON, R.W.; ADAMS, F. (ed.) Soil Acidity and Liming. **Amer. Soc. Agronomy**. Madison. Agronomy. 12:1-41. 1967.

COLEMAN, N.T.; CRAIG, D. The spontaneous alteration of hydrogen clay. **Soil Sci.** Baltimore. 91:14-18. 1961.

COLEMAN, N.T.; WEED, S.B.; Mc CRACKEN, R.J. Cation exchange capacity and exchangeable cations in Piedmont soils of North Carolina. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** Madison. 23:146-149. 1959.

COLEMAN, N.T.; KAMPRATH, E.J.; WEED, S.B. Liming. **Advances in Agronomy**, New York, v.10, p.475-522. 1958.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. aproximação. Viçosa, 1989. 359p.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DO PARANÁ. Reciclagem agrícola do lodo de esgoto: estudo preliminar para definição de critérios para uso agrônomo e de parâmetros para normatização ambiental e sanitária. Curitiba: Sanepar. 81p. 1997.

CORRÊA, J.B; COSTA, P.C.; LOPES, A.S. & CARVALHO, J.G. Avaliação de H + Al pelo método SMP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEEIRAS.12., Caxambu, 1985. Anais. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro do Café, 1985. p.111-112.

CURTIN, D. e G.W. SMILLIE. Soil solution as affected by liming and incubation. **Soil Sci. Soc. Amer. J.**, Madison. 47:701-707. 1983.

DAVIS, L.E.; Turner R.; WHITIG L.D. Some studies of the autotransformation of H-bentonite to Al-bentonite. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** Madison. 26:441-443. 1962.

DEWAN, H.C.; RICH, C.I. Titration of acid soils. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** Madison. 34:38-44. 1970.

EMATER-AL (Maceió, AL). **Recomendações de adubação para o estado de Alagoas** (1ª aproximação). Maceió, 1980a. 92p.

EMATER-CE (Fortaleza, CE). **Recomendações de adubação para o estado do Ceará** (1ª aproximação). Fortaleza, 1978. 68p.

EMATER-PE (Recife, PE). **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco** (1ª aproximação). Recife, 1980b. 81p.

EMATER-PR (Curitiba, PR). **Análise de solo**. 5.ed. Curitiba: EMATER-PR, 1998. (Série Informação Técnica, 21).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília. 412p. 1999.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. e atual. Rio de Janeiro. 212p. 1997.

ERNANI, P.R. & ALMEIDA, J.A. Comparação de métodos analíticos para avaliar a necessidade de calcário dos solos do Estado de Santa Catarina. **R. Bras. Ci. Solo.** v. 13, p. 139-143, 1986.

ERNANI, P.R. & ALMEIDA, J.A. **Avaliação de métodos de recomendação quantitativa de calcário para os solos do Estado de Santa Catarina.** Lages: UDESC-Curso de Agronomia, 1986b. 53p. (Boletim Técnico de Solos, 11).

ESCOSTEGUY, P.A.; BISSANI, C.A. Estimativa de H + Al pelo método pH SMP em solos do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.1, p.175-179, 1999.

FASSBENDER, H.W. **Química de Suelos.** Con énfasis em suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Turrialba, Costa Ricas, Ed. de La Cruz. 398p. 1975.

FREITAS, L.M.M.; PRATT, P.F.; VETTORI, L. Testes rápidos para estimar a necessidade de calcário em alguns solos do Estado de São Paulo. **Pesq. Agropec. Bras., Ser. Agron.** Rio de Janeiro. 3:159-164. 1968.

FURTINI NETO, A.E.; TOKURA, A.M.; RESENDE, V.R. **Interpretação de Análise de Solo e Manejo da Adubação.** Lavras. Ed. UFLA. 159p. 2004.

GALVÃO, F.A.D.; **Propriedades químicas e calibração do método SMP para solos orgânicos do litoral do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** Pelotas, 1994. 110p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

GAMA, M.A.P.; PROCHNOW, L.I.; GAMA, J.R.N.F. Avaliação da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos do Nordeste Paraense. In: REUNIÃO BRASILEIRA DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2., Caxambu. **FertBio 98:** interrelação, fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas – consolidando um paradigma – resumos. Caxambu: UFLA / SBCS / SBM, 1998. p.544.

GHIDIN, A.A. **Influência dos minerais da fração argila nas propriedades físicas de duas classes de latossolos no estado do Paraná.** Curitiba, 2003. 98p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

GOEDERT, W.J. **Calagem e Adubação.** Brasília: EMBRAPA-CPAC: EMBRAPA-SPI, 1995. p. 59. (Coleção Saber, 1)

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. 2ª Ed. CEMPRE. 2000.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. Disponível em: <<http://www.pr.gov.br/celepar/seab/iapar/zonpr/index.html>>. Acesso em 17 de setembro de 2004.

GRAHAM, E.R. **An explanation of theory and methods of soil testing**. [S.l.]: Missouri Agricultural Experimental Station, 1959. (Bulletin, 734).

HABY, V.A.; RUSSELLE, M.P.; SKOGLEY, E.O. Testing soils for potassium, calcium, and magnesium. In: WESTERMAN, R.L. **Soil testing and plant analysis**. e.ed. Madison: SSSA, 1990. p.181-227.

HARWARD, M.E.; COLEMAN, N.T. Some properties of H and Al clays and exchange resins. **Soil Sci**. Baltimore. 79:181-188. 1954.

HELLING, G.S.; CHESTERS, S.; COREY, R.B. Contribution of organic matter and clay to soil cation-exchange capacity as affected by the pH of saturation solution. **Sci. Soc. Amer. Proc**. Madison. 28:517-520. 1964.

HESSE, P.R. **A textbook of soil chemical analysis**. London: John Murray, 1971. 520p.

HISSINK, D.J. Method for estimating adsorbed bases in soils and the importance of these base in soil economy. **Soil Science**, Baltimore , v.15, p.269-276, 1923.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (Campinas, SP). **Tabelas de adubação e calagem das principais culturas econômicas do Estado de São Paulo**. Campinas, 1977. 198p. (IAC. Boletim, 209).

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas Climáticas do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1994.

JACKSON, M.L. Aluminum bonding in soils: A unifying principle in soil science. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.27, n.1, p.1-10. 1963.

JENNY, H. Reflections on the soil acidity merry-go-round. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc**. Madison. v.25, p.428-432. 1961.

JORGE, J.A. **Solo: manejo e adubação**. São Paulo: Melhoramentos, 1969. 225p.

KALCKMANN, R.E. **Estudo da acidez do solo no estado do Paraná**. Curitiba: CERENA, 1967. 4p. Trabalho apresentado no XI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Brasília, 1967a.

KALCKMANN, R.E.; DODZIAK JR.,C.; MUZILLI, O. **Determinação da necessidade de calcário pelas curvas de neutralização: nota prévia**. Curitiba: CERENA, 1967. 4p. Trabalho apresentado no XI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Brasília, 1967b.



KAMINSKI, J.; BOHNEM, H. Fatores de acidez II. Combinação de variáveis na avaliação quantitativa de corretivos para solos ácidos. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v.7, n.1, p.47-54, 1977.

KAMINSKI, J. Fatores da acidez e necessidade de calcário em solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Faculdade de Agronomia, UFRGS. 96p. 1974. (Tese de Mestrado em Agronomia – Solos).

KAMPRATH, E.J. Crop response to lime on soil in the tropical. In: ADAMS, F. Soil acidity and liming. 2.ed. Madison: ASA / CSSA / SSSA, 1984. p.349-368.

KAMPRATH, E.J. Exchange aluminium as a criterion for liming leached mineral soils. **Soil Science Society America Proceedings**, Madison, v.34, p.252-254. 1970.

KEENEY, D.R.; COREY, R.B. Factors affecting the lime requirement of Wisconsin soils. **Soil Science Society of America Proceeding**, Madison, v.27, n.3, p.277-280, 1963.

KELLEY, W.P. Cation exchange in soils. New York: Reinhold, 1948. 144p (ACS. Monograph, 109).

KINJO, T. Conceitos de acidez dos solos. In: RAIJ, B.van, BATAGLIA O.C.; SILVA, N.M. (Coord.). Acidez e calagem no Brasil. XV Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo. Campinas, **Soc. Bras. Ciência do Solo**. p. 24-31. 1983.

KÖPPEN, W. **Climatologia, com um estúdio de los climas de la tierra**. Tradução: Pedro Pérez, 1. ed. Madri: 1948.

LARACH, J. O.; A. CARDOSO; A. P. CARVALHO; D. P. HUCHMÜLER; P. J. FASOLO & M. J. RAUEN. 1984. Levantamento e reconhecimento dos solos do estado do Paraná. Curitiba, Embrapa/ Suldesul/ lapar, 791 p.

LIMA, M.R.; SIRTOLI, A.E.; SERRAT, B.M.; WISNIEWSKI, C.; ALMEIDA, L.; MACHADO, M.A.M.; MARQUES, R.; MOTTA, A.C.V.; KRIEGER, K.I.; OLIVEIRA, A.C.; FERREIRA, F.V. Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas. Curitiba: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. 2.ed. ver. e ampl. 143p. 2003.

LIN, C.; COLEMAN. N.T. The measurement of exchangeable aluminum in soils and clays. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.24, p.444-446, 1960.

LOGAN, T.J.; FAULMANN, E. **Pasterization of chicken and hog manure with alkaline stabilization**. The Ohio State Univ. Columbus. Joint residuals and Biosolids Mgm. Conf., Charlotte, N.C., 1999. p.9 ALKALINE STABILIZATION OF AGRICULTURAL WASTES: annual report. p. 9. Disponível em: <http://www.N-VIRO.com.facilities/faceis/besteville.update.htm> Acesso em: 05 de nov. 1999.

LOGAN, T.J.; HARRISON, B.J. Physical characteristic of alkaline stabilized sewage sludge ( N-Viro Soil ) and their effects on soil physical properties. **Journal of Environmental Quality**, v.24, p.153-164, 1995.

LOGAN, T.J. Reclamation of chemical degraded soils. In: R. Lal and B.A. Stewart (ed). Soil restoration. **Adv. Soil Sci.** v.17, p.13-35, 1992

LOPES, A.S. A calagem em solos sob Cerrado. In: RAIL, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da., ed. **Acidez e calagem no Brasil**. Campinas: SBCS / IAC, 1983a. p.49-61.

LOPES, A.S. **Solos sob “Cerrado”**: características e manejo. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato / Instituto Internacional da Potassa, 1983b. 162p.

LOW, P.F. The role of aluminun in the tritations of bentonite. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** Madison. 19:135-139. 1955.

LUCAS, R.E. Organic soils (Histosols): formation, distribution, physical and chemical properties and management for crop production. **Research Report, Farm Science**, Michigan State University. n.435, 80p. 1982.

LUCCHESI, L.A.C. **The effects of two processed sewage sludges on the characteristics of three soils from Paraná, Brazil and the behavior of sludge zinc**. Columbus, 1997. 362p. Tese (Doutorado) – Ohio State University.

LUCHESI, E.B.; FAVERO, L.O.B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo**. Rio de Janeiro. Freitas Bastos. 182p. 2002.

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. Curitiba. Editor Banco de Desenvolvimento do Paraná/UFPR/IBPT, 1968. 442p.

MAACK, R., Notas preliminares sobre uma nova estratigrafia do Devoniano do Estado do Paraná. In: CONGRESSO PAN-AMERICANO DE ENGENHARIA DE MINAS E GEOLOGIA (2. : Rio de Janeiro: 1946). 1946. **Anais**.

MAEDA, S.; KURIHARA, C.H.; HERNANI, L.C.; FABRÍCIO, A.C. & SILVA, W.M. Estimativa da acidez potencial, pelo método do pH SMP, em solos do Mato Grosso do Sul. Dourados, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. 25p. (Boletim de Pesquisa, 3)

MALAVOLTA, E. ABC da análise de solo e folhas: amostragem, interpretação e sugestões de adubação. São Paulo. Ed. Agronômica Ceres. 124p. 1992.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**: adubos e adubação. 2.ed. São Paul: Ceres, 1967. 606p.

MARQUES, R.; MOTTA, A.C.V. Análise química do solo para fins de fertilidade. In: Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas. Curitiba: UFPR, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. 2.ed. ver. e ampl. 2003. p. 81-102.

Mc COOL, M.M.; MILLAR, C.E. Some general information on lime and its uses and function in soils. East Lansing: Michigan Agricultural College – Experiment Station, 1918. 21p. (Special Bulletin, 91).

Mc LEAN, E.O.; BROWN, J.R. Crop Response to Lime in the Midwestern USA. Soil Acidity and Liming. 2.ed. N. 12 in the series Agronomy. **American Society of Agronomy**, Madison, Wisconsin USA, 1984. p.267-303.

Mc LEAN, E.O. Chemistry of soil aluminum. **Commun. Soil Sci.Plant Anal.** 7:619-636. 1976.

Mc LEAN, E.O.; OWEN, E.J. Effects of the pH on the contributions of organic matter and clays to soils cation exchange capacity. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** Madison. v.33, p.855-858. 1970.

Mc LEAN, E.O.; DUMFORD, S.W.; CORONEL, F.A. Comparison of several methods of determining lime requirements of soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.30, p.26-29, 1966.

Mc LEAN, E.O. Aluminum. In: BLACK, C.A. et alii (ed). Methods of soil analysis, Part 2. Madison. ASA, p. 978-997 (Agronomy series, 9). 1965.

Mc LEAN, E.O.; HEDDLESON, M.R.; POST, G.J. Aluminum in soils: III. A comparison of extraction methods for soils and clays. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** Madison. 23:289-293. 1959.

MELO, V.F.; NOVAIS, R.F.; FONTES, M.P.F & SCHAEFER, C.E.G.R. Potássio e magnésio em minerais das frações areia e silte de diferentes solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.24. p.269-284, 2000.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of nutrition**. Bern: International Potash Institute, p. 391-411, 1987.

MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A.E.; BOHNEN, H. Recomendações de adubo e calcária para os solos e culturas do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS – Faculdade de Agronomia,. 1969. 38p. (Boletim Técnico, 2).

MIYAZAWA, M.; CHIERICE, G.O.; PAVAN, M.A. Amenização da toxicidade de alumínio às raízes do trigo pela complexação com ácidos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.209-215, 1992.

MOHR, W. Influência da acidez sobre a fertilidade dos solos. Porto Alegre: [s.n., 1960]. 23p. Trabalho apresentado no I Congresso Nacional de Conservação de Solos, Campinas, 1960.

MOHR, W. Análises de solos para fins de assistência aos agricultores: sua técnica e interpretação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1., 1947, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBCS, 1950. p.185-215.

MONTE SERRAT, B.; OLIVEIRA, A.C. Amostragem de solo para fins de manejo da fertilidade. In: Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas. Curitiba: UFPR, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. 2.ed. ver. e ampl. 2003. p. 62-76.

MURDOCK, J.T.; PAVAGEAU, M.; RUCKHEIM FILHO, O.; FRASCA FILHO, A.; FRATTINI, C.; KALCKMANN, R.E. **Determinação quantitativa de calagem**. Porto Alegre: UFRGS – Faculdade de Agronomia e Veterinária, 1969. 18p. Mimeografado. Trabalho apresentado no XII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Curitiba, 1969.

MUZILLI, O.; GODOY, O.P. Correção da acidez em um latossolo roxo distrófico no oeste do estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.14, n.2, p.159-163, 1979.

MUZILLI, O.; KALCKMANN, R.E. Análise de assistência-interpretação de resultados e determinação de níveis críticos. I. Determinação de níveis críticos da acidez. **Boletim da Universidade Federal do Paraná – Agronomia**, Curitiba, n.1, p.1-18, 1971a.

MUZILLI, O.; KALCKMANN, R.E.; Sugestões de calagem e adubação para recuperação dos solos da região nordeste do estado do Paraná. **Arquivos de Biologia e Tecnologia, Curitiba**, v.14, p.54-60, 1971b.

MUZILLI, O.; KALCKMANN, R.E.; **Estudo de fertilidade em solos da região nordeste do Estado do Paraná – ano agrícola 1969/70**. [Curitiba]: ACARPA / CERENA / EAVUFP / IBPT / EPFS-MA / BADEP / IBC-DAC, 1970. 23p.

MUZILLI, O.; KALCKMANN, R.E.; MUNHOZ, F.G. Estudo da correção da acidez dos solos do estado do Paraná. I. Determinação de curvas de neutralização em latossolos roxos do oeste. **Revista da Escola de Agronomia e Veterinária**, Curitiba, v.5, p.25-33, 1969a.

MUZILLI, O.; KALCKMANN, R.E. Estudo da correção da acidez dos solos do estado do Paraná. III. Ensaios de campo, em latossolos roxos do oeste. **Revista da Escola de Agronomia e Veterinária**, Curitiba, v.5, p.39-43, 1969b.

MUZILLI, O. Contribuição aos estudos de correção da acidez e adubação fosfatada em solos do estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESTUDANTES DE AGRONOMIA, 13., 1968, Rio de Janeiro. **Engenharia e Química**, Rio de Janeiro, v.20, n.1, p14-24, 1968.

NASCIMENTO, C.W. A. Acidez potencial estimada pelo pH SMP em solos do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.3, p.679-682, 2000.

NATRELLA, M.G. **Experimental Statistics**. National Bureau of Standards Handbook 91, United States Department of Commerce. Washington, D.C., 1966.

NETTO, A.R. **Influência da mineralogia da fração argila sobre propriedades físico-químicas de solos brasileiros**. Viçosa, 1996. 144f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal de Viçosa.

N-VIRO. Disponível em: <<http://www.nviro.com/technology/advantages.htm>>. Acesso em 08 de setembro de 2004.

N-VIRO. ALKALINE STABILIZATION OF AGRICULTURAL WASTES. Anual Report p.1-13. Disponível em: <<http://www.nviro.com.facilities/faceis/beltesville.update.htm>>. Acesso em 05 de novembro de 2002a.

N-VIRO. Disponível em: <<http://www.nviro.com/technology/advantages.htm>>. Acesso em 30 de agosto de 2002b.

OLMOS, I.L.J.; CAMARGO, M.N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v.28, n.2, p.171-180, 1976.

PAIVA NETO, J.E.; CATANI, R.A.; QUEIROZ, M.S.; KÜPPER, A. Contribuição ao estudo dos métodos analíticos e de extração para a determinação química dos solos do Estado de São Paulo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1., 1947, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBCS, 1950. p.79-108.

PALHANO, J.B.; SFREDO, G.J.; CAMPO, R.J.; LANTMANN, A.F.; BORKERT, C. M. **Calagem para soja: recomendação para o estado do Paraná**. Londrina: EMBRAPA-CNPSoja, 1984. 13p. (EMBRAPA-CNPSoja. Comunicado Técnico, 28).

PARANÁ. Zoneamento Ecológico e Econômico do Paraná. Disponível em : <<http://www.pr.gov.br/zee/index-net.html>> Acesso em 31 de janeiro de 2005.

PAVAN, M.A.; OLIVEIRA, E.L. & MIYAZAWA, M. **Determinação indireta da acidez extraível do solo (H + Al) por potenciométrica com a solução-tampão SMP**. *Arq. Biol. Tecnol.*, 39:307-312, 1996.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR, 1992. 39p. (IAPAR. Circular, 76).

PEARSON, R.W. Soil acidity and liming in the humid tropics. Ithaca: Cornell International Agriculture/Cornell University, 1975. 66p. (Bulletin, 30).

PEECH, M. Lime requirement. In: BLACK, C.A. et al (Ed). **Methods of Soils Analysis**, Part 2. Madison. ASA. (Agronomy series, 9). p.927-932. 1965a.

PEECH, M. Hydrogen-ion activity. In: BLACK, C.A. (Ed). **Methods of Soils Analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965b. p.914-926.

PEECH, M.; COWAN, R.L.; BAKER, J.H. A critical study of the BaCl<sub>2</sub>-triethanolamine and the ammonium acetate methods for determining the exchangeable hydrogen content of soils. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** Madison. 26:37-40. 1962.

PEECH, M.; BRADFIELD, R. Chemical methods for estimating lime need of soils. **Soil Sci.** Baltimore. 65:35-55. 1948.

PEREIRA, M.G.; VALLADARES, G.S.; SOUZA, J.M. P. F.; PÉREZ, D.V.; ANJOS, L.H.C. Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n1, p.159-162, 306p.

PETRERE, C., SALET, R.L., ANGHINONI, I. Produtividades de culturas nos sistemas plantio direto e convencional no sul do Brasil. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, Lages, SC, 1996. **Resumos expandidos**. Lages. NRS/SBCS, 1996. p.74-76.

PIERRE, W.H. Hydrogen-ion concentration, aluminum concentration in the soil solution, and percentage base saturation as factors affecting plant growth on acid soil. *Soil Science*, Baltimore, v.31, n.3, p.183-207. 1931.

PIERZYNSKI, G.M.; SCHWAB, A.P. Bioavailability of zinc, cadmium, and lead in a metalcontaminated alluvial soil. **Journal of Environmental Quality**, v. 22, p.251-262, 1993.

PIONKE, H.B.; COREY, R.B.; SCHULTE, E.E. Contributions of soil factors to lime requirement and lime requirement tests. **Sci. Soc. Amer. Proc.** Madison, 32:113-117. 1968.

PIONKE, H.B.; COREY, R.B. Relation between acidic aluminum and soil pH, clay and organic matter. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** Madison. 31:749-752. 1967.

PRADO, H. do. **Solos do Brasil: gênese, morfologia, classificação e levantamento**. Divisão de Biblioteca e Documentação – Campus Luiz de Queiroz/USP. 2.ed. ver. e ampli. Piracicaba. 220p. 2001.

PRATT, P.F.; BAIR, F.L. A comparason of three reagents for the extration of aluminum from soils. **Soil Sci.** Baltimore. 91:357-359. 1961.

PREISLER, M. **Biossólido de dejetos de suínos tratados pelo processo N-Viro e sua influência nos atributos químicos de um cambissolo e na produtividade de milho**. Curitiba. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração em Ciências do Solo) - UFPR, 2002. 133p.

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van. Determinação do pH em cloreto de cálcio e da acidez total. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A., eds. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas, Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van.; MALAVOLTA, E. Alternative use of the SMP-buffer solution to determine lime requirement of soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New Cork, v.16, n.3, p.245-260, 1985.

QUAGGIO, J.A. **Crêterios para calagem em solos do Estado de São Paulo**. Piracicaba, 1983. Dissertação (Mestrado em Agronomia,  rea de concentração Solos e Nutrição de Plantas) - USP-ESALQ, 1983a. 76p.

QUAGGIO, J.A. Métodos de laboratório para a determinação da necessidade de calagem em solos. In: RAIJ, B. van.; BATAGLIA, O. C.; SILVA, N. M. da. **Acidez e calagem no Brasil**. Campinas: SBCS / IAC, 1983b. p.33-48.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: CERES/POTAFOS, 1991. 343p.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e necessidade de calcário e fertilizantes para o Estado de São Paulo. **O Agrônômico**, Campinas, v.37(1), p.13-21, 1985.

RAIJ, B. van.; SILVA, N.M.; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; DECHEN, A.R.; TRANI, P.E. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1985. 107p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van. O cálcio como nutriente para as culturas. In: SEMINÁRIO P, Ca, Mg, E MICRONUTRIENTES. Situação e perspectiva na agricultura, 1984, **Anais...** Manah S/A. p. 96.

RAIJ, B. van.; CAMARGO, A.P.; CANTARELLA, H.; SILVA, N.M. Alumínio trocável e saturação em bases como cr terios para recomendação de calagem. **Bragantia**, Campinas, v.42, n.3, p.149-156, 1983.

RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: IAC, 1983. 39p. (IAC. Boletim Técnico, 81).

RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto de Potassa & Fosfato, 1981. 142p.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; ZULLO, M.A.T. O método tampão SMP para a determinação de necessidade de calagem de solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**. Campinas. v.38, n.7, p.57-69, 1979.

RAIJ, B. van.; SACCHETTO, M.T.D.; IGUE, T. Correlação entre o pH e o grau de saturação em bases nos solos com horizonte B textural e horizonte B latossólico. **Bragantia**. Campinas. 27:193-200. 1968.

REDE OFICIAL DE LABORATÓRIOS DE ANÁLISE DE SOLO E DE TECIDO VEGETAL DOS ESTADOS DO RIO GRANDE DO SUL E DE SANTA CATARINA. COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC (Passo Fundo, RS).

**Recomendação de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** 3. ed. Passo Fundo, SBCS - Núcleo Regional Sul, 1994. 224p.

REDE OFICIAL DE LABORATÓRIOS DE ANÁLISE DE SOLO E DE TECIDO VEGETAL DOS ESTADOS DO RIO GRANDE DO SUL E DE SANTA CATARINA. COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Recomendação de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** 2. ed. Passo Fundo, SBCS - Núcleo Regional Sul, 1989. 128p.

REEVE, N.G.; SUMNER, M.E. Lime requirements of Natal oxisols based on exchangeable aluminum. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.34, p.595-598, 1970.

RAMOS, F.; KEHRING, A.G. Descrição e crítica dos métodos de analyses. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1., 1947, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBCS, 1950. p.583-604.

REUNIÃO ANUAL DOS LABORATÓRIOS OFICIAIS DE ANÁLISE DE SOLO DOS ESTADOS DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA – ROLAS, 5.,1973, Passo Fundo. **Ata...** Passo Fundo: UPF, 1973. 16p.

ROSS, G.J.; LAWTON, K.; ELLIS, B.G. Lime requirement related to physical and chemical properties of nine Michigan soils. **Sci. Soc. Amer. Proc.** Madison. 24:457-460. 1964.

SBCS; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina/SBCS. CQFS. 10 ed. Porto Alegre. 400p. 2004.

SCHLINDWEIN, J.A.; ANGHINONI, I. Variabilidade horizontal de atributos de fertilidade e amostragem do solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.85-91, 2000.

SEAB/DERAL. **Valor Bruto da Produção Agropecuária Paranaense em 2003.** Governo do Paraná – Secretaria Estadual da Agricultura e do Abastecimento – SEAB; Departamento de Economia Rural – DERAL. Disponível em: [http://www.pr.gov.br/seab/valor\\_bruto.pdf](http://www.pr.gov.br/seab/valor_bruto.pdf). Acesso em: 09 de dez. 2004.

SHOEMAKER, H.E.; Mc LEAN E.O.; PRATT, P.F. Buffer methods for determining lime requirement of soil with appreciable amounts of extractable aluminium. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.25, p.274-277, 1961.

SCHOFIEELD, R. K.; TAYLOR, A. N. The measurement of soil pH. **Soil Society of América Proceedings**, Madison, v. 19, p.164-167, 1995.

SILVA, C.A.; AVELAR, M.L.; BERNARDI, A.C.C. Estimativa da acidez potencial pelo pH SMP em solos do semi-árido do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.24, n.3, p.689-692, 2000.



SILVA, E.B.; DIAS, M.S.C.; GONZAGA, E.I.C. & SANTOS, N.M. Estimativa da acidez potencial pelo pH SMP em solos da região norte do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.26, p.561-565, 2002.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. EMBRAPA, Brasília, DF, 1999.

SIQUEIRA, O.J.F.; SHERER, E.E.; TASSINARI, G.; ANGHINONI, I.; PATELLA, J. F.; TEDESCO, M.J.; MILAN, P.A.; ERNANI, P.R. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Passo Fundo: EMBRAPA, 1989. 128p.

SIQUEIRA, O.J.F.; SCHERE, E.E.; TASSINARI, G.; ANGHINONI, I.; PATELLA, J. F.; TEDESCO, M.J.; MILAN, P.A.; ERNANI, P.R. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1987. 100p.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Profundidade de amostragem do solo sob plantio direto para avaliação de características químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.157-162, 2002.

SIMONSON, R.W. Concept of soil. *Advances in Agronomy*, New York, v.20, p.1-47, 1968.

SLOAN, J.J.; BASTA, N.T. Remediation of acid soils by using alkaline biosolids. **Journal Environmental Quality**, v. 24, p. 1097-1103, 1995.

SMITH, K.A.; GOINS, L.E.; LOGAN T.J. Effect of calcium oxide dose on thermal reactions, lime speciation, and physical properties of alkaline stabilized biosolids. **Water Environmental Res.**, v. 70, p.224-230, 1998.

SOUSA, D.M.G.; REIN, T.A.; LOBATO, E.; RITCHEY, K.D. Sugestões para diagnose e recomendação de gesso em solos de cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA. 2. **Anais...** Uberaba, Instituto Brasileiro do Fósforo, 1992. p.139-158.

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; LOBATO, E. **Avaliação dos métodos de determinação da necessidade de calcário em solos de Cerrado**. Planaltina: EMBRAPA-CNPQ, 1990. 14p. (EMBRAPA-CNPQ. Circular Técnica, 27).

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; LOBATO, E.; CASTRO, L.H.R. Métodos para estimar as necessidades de calagem em solos dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n2, p.193-198, 1989.

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; LOBATO, E.; KLIEMAN, H.J. Avaliação de método para determinar as necessidades de calcário em solo de cerrado de Goiás e do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.4, n.3, p.144-148. 1980.

SPARKS, D.L. **Environmental soil chemistry**. San Diego: Academic Press, 1995. 267p.

SPSS, Inc. 1999, **SPSS for Windows**, v. 10.0.5 DEMO, SPSS, Inc. 1998-1999.

SUMNER, M.E. Procedures used for diagnosis and correction of soil acidity: a critical review. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; SCHAFFERT, R.E.; FAGERIA, N.K.; ROSOLEM, C.A.; CANTARELLA, H., ed. **Plant-soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production**. Campinas: Brazilian Soil Science Society, 1997. p.195-204.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D.; HAVLIN, J.L. Soil fertility and fertilizers. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1993. 634p.

THOMAS, G.W. Historical developments in soil chemistry: ion exchange. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.41, n.2, p.230-238, 1977.

THOMAS, G.W. Forms of aluminum in cation exchangers. In: International Congress of Soil Science; 7<sup>o</sup>. Madison. II, 47:364-369. 1960.

TOBON, J.H.; LEON, A. Comparacion de vários métodos para determinar requirements de cal en algunos suelos colombianos. Suelos Equatoriales, "acidez y enclamiento en el tropico". Primer Colóquio de suelos, Medellin, Colombia. **Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo**. 3:66-87. 1971.

TOMÉ JUNIOR, J.B. Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba, RS. Ed. Agropecuária. 247p. 1997.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Departamento de Solos/UFRGS, 1995. (Boletim Técnico, 5).

TEDESCO, M.J.; BOHNEN, H.; COELHO DE SOUZA, L.F.; PATELLA, J.F. **A Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina – passado e presente**. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 1., 1994, Pelotas. Pelotas: SBCS – Núcleo Regional Sul / UFPel – Faculdade de Agronomia, 1994. p.1-4.

TEDESCO, M.J.; PANDOLFO, C.M. & ANGHINONI, I. **Efetividade da superfície específica de frações granulométricas de calcário na correção da acidez do solo**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 18, Guarapari, ES, 1988. Resumos. Vitória: SEAG-ES/EMCAPA/EMATER-ES/SBCS, 1988. p.90.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D.; HAVLIN, J.L. **Soil fertility and fertilizers**. New York: Macmillan Publishing Company, 1993. 634p.

UCHOA, G.D. O uso de calcário na agricultura. Porto Alegre: Instituto Experimental de Agricultura em Viamão, 1925. 18p. (Boletim,2).

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas. Curitiba: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. 2.ed. ver. e ampl. 143p. 2003.

VAGELER, P. **Cálculo de adubação**. Florianópolis: ACARESC, 1965. 16p. Mimeografado.

VAGELER, P. **Princípios do Cálculo do fornecimento dos solos de nutrientes e da adubação mineral racional**. Campinas: IAC, 1956. 19p. Mimeografado.

VEITCH, F.P. Comparison of methods for the estimation of soil acidity. **Journal of American Chemical Society**, New York, v.26, p.637-662, 1904.

VEITCH, F.P. The estimation of soil acidity and the lime requirements of soils. **Journal of American Chemical Society**, New York, v.24, p.1120-1128, 1902.

VERDADE, F.C. da; GARGANTINI, H.; MIRANDA, L.T. de. **Uso e aplicação do calcário; campanha de calagem do solo**. Campinas: AIC, 1968. 63p.

VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Rio de Janeiro. (Boletim Técnico, 7). 24p. 1969.

VETTORI, L. **Química do solo**. Curso intensivo, por P. F. PRATT. Tradução de Vettori L. Nascimento E. Convênio MA/DPFS – USAID/BRASIL. nº 01. 87p. 1966.

VETTORI, L. **Determinação da necessidade de cal dos solos**. Rio de Janeiro: Instituto de Química Agrícola, 1948. 19p. (Boletim, 7).

VIANNA, A.C.T. **Métodos de avaliação da quantidade de calcário e a problemática da necessidade de calagem**. Pelotas: UFPel / CETREISUL, 1972. 13p.

VOLKWEIS, S.J. Química da acidez dos solos. In: **ANAIS DO II SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS DO SOLO**. Santa Maria, RS, 1989, 224p.

VOLKWEIS, S. & TEDESCO, M. **A calagem dos solos ácidos**. Porto Alegre: Sindicato da Indústria e da Extração de Mármore, Calcário e Pedreiras no Estado do Rio Grande do Sul, 1984. 26p.

WEF. Beneficial use programs for biosolids management, Special publication. **Water Environment Federation**, Alexandria, VA. 1994.

WERNER, J.C. **Adubação de pastagens**. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1984. 49p. (Boletim Técnico, 18).

WHEELER, H.J.; HARTWELL, B.L.; SARGENT, C.L. Chemical methods for ascertaining the lime requirement of soils. **Journal of the American Chemical Society**, New York, v.22, n.3, p. 153-177, 1900.

WIETHÖLTER, S. **Calagem no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo. 104p. (Embrapa Trigo. Documentos 22). 2000.

WOODRUFF, C.M. Testing soil for lime requirement by means of a buffered solution and the glass electrode. **Soil Sci.** Baltimore. 66:53-63. 1948.

YAMAKAWA, I. **Effects of aging on leachate characteristics of alkaline stabilized biosolids**. Ohio, 1999, 160f. Dissertation (Degree Doctor of Philosophy) – The Ohio State University.

YUAN, T.L. A double buffer method for the determination of lime requirement of acid soils. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** Madison. 38:437-440. 1974.

YUAN, T.L. Some relationships among hydrogen, aluminum, and pH in solution and soil systems. **Soil Sci.** Baltimore. 95:155-163. 1963.

YUAN, T.L. Determination of exchangeable hydrogen in soils by a titration method. **Soil Sci.** Baltimore. 88:164-167. 1959.

## ANEXOS

### ANEXO 1

TABELA 1	- DOSAGENS DE CARBONATO DE CÁLCIO PARA TRATAMENTO DO SOLO DE ARAPOTI .....	114
TABELA 2	- DOSAGENS DE CARBONATO DE CÁLCIO PARA TRATAMENTO DO SOLO DE PONTA GROSSA .....	115
TABELA 3	- DOSAGENS DE CARBONATO DE CÁLCIO PARA TRATAMENTO DO SOLO DE PALMEIRA .....	116
TABELA 4	- DOSAGENS DE CARBONATO DE CÁLCIO PARA TRATAMENTO DO SOLO DE CONTENDA .....	117
TABELA 5	- DOSAGENS DE CARBONATO DE CÁLCIO PARA TRATAMENTO DO SOLO DE CASCAVEL .....	118

### ANEXO 2

TABELA 1	- MODELO DE FORMULÁRIO PARA REGISTRO DE LEITURA DE pH DURANTE INCUBAÇÃO .....	119
----------	---	-----

### ANEXO 3

FIGURA 1	- CURVAS DE NEUTRALIZAÇÃO DO SOLO DE ARAPOTI EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CARBONATO DE CÁLCIO APLICADAS. SENDO (a) pH EM ÁGUA, (b) pH $\text{CaCl}_2$ e (c) pH SMP .....	120
FIGURA 2	- CURVAS DE NEUTRALIZAÇÃO DO SOLO DE PONTA GROSSA EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CARBONATO DE CÁLCIO APLICADAS. SENDO (a) pH EM ÁGUA, (b) pH $\text{CaCl}_2$ e (c) pH SMP .....	121
FIGURA 3	- CURVAS DE NEUTRALIZAÇÃO DO SOLO DE PALMEIRA EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CARBONATO DE CÁLCIO APLICADAS. SENDO (a) pH EM ÁGUA, (b) pH $\text{CaCl}_2$ e (c) pH SMP .....	122
FIGURA 4	- CURVAS DE NEUTRALIZAÇÃO DO SOLO DE CONTENDA EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CARBONATO DE CÁLCIO APLICADAS. SENDO (a) pH EM ÁGUA, (b) pH $\text{CaCl}_2$ e (c) pH SMP .....	123
FIGURA 5	- CURVAS DE NEUTRALIZAÇÃO DO SOLO DE CASCAVEL EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CARBONATO DE CÁLCIO APLICADAS. SENDO (a) pH EM ÁGUA, (b) pH $\text{CaCl}_2$ e (c) pH SMP .....	124

#### **ANEXO 4**

QUADRO 1	- DEMONSTRAÇÃO DAS MÉDIAS DAS LEITURAS SEMANAIS DE pH DO SOLO DE ARAPOTI E PONTA GROSSA .....	125
QUADRO 2	- DEMONSTRAÇÃO DAS MÉDIAS DAS LEITURAS SEMANAIS DE pH DO SOLO DE PALMEIRA E CONTENDA ..	126
QUADRO 3	- DEMONSTRAÇÃO DAS MÉDIAS DAS LEITURAS SEMANAIS DE pH DO SOLO DE CASCAVEL .....	127

#### **ANEXO 5**

FIGURA 1	- TESTE DE TUKEY 0,05% PARA AS MÉDIAS DE pH DO SOLO DE ARAPOTI. SENDO (a) pH EM H <sub>2</sub> O, (b) pH CaCl <sub>2</sub> e (c) pH SMP .....	128
FIGURA 2	- TESTE DE TUKEY 0,05% PARA AS MÉDIAS DE pH DO SOLO DE PONTA GROSSA. SENDO (a) pH EM H <sub>2</sub> O, (b) pH CaCl <sub>2</sub> e (c) pH SMP .....	129
FIGURA 3	- TESTE DE TUKEY 0,05% PARA AS MÉDIAS DE pH DO SOLO DE PALMEIRA. SENDO (a) pH EM H <sub>2</sub> O, (b) pH CaCl <sub>2</sub> e (c) pH SMP .....	130
FIGURA 4	- TESTE DE TUKEY 0,05% PARA AS MÉDIAS DE pH DO SOLO DE CONTENDA. SENDO (a) pH EM H <sub>2</sub> O, (b) pH CaCl <sub>2</sub> e (c) pH SMP .....	131
FIGURA 5	- TESTE DE TUKEY 0,05% PARA AS MÉDIAS DE pH DO SOLO DE CASCAVEL. SENDO (a) pH EM H <sub>2</sub> O, (b) pH CaCl <sub>2</sub> e (c) pH SMP .....	132

#### **ANEXO 6**

FIGURA 1	- MAPA DE SOLO DE ARAPOTI COM DESTAQUE DO PONTO DE AMOSTRAGEM .....	133
FIGURA 2	- MAPA DE SOLO DE PONTA GROSSA COM DESTAQUE DO PONTO DE AMOSTRAGEM .....	134
FIGURA 3	- MAPA DE SOLO DE PALMEIRA COM DESTAQUE DO PONTO DE AMOSTRAGEM .....	135
FIGURA 4	- MAPA DE SOLO DE CONTENDA COM DESTAQUE DO PONTO DE AMOSTRAGEM .....	136
FIGURA 5	- MAPA DE SOLO DE CASCAVEL COM DESTAQUE DO PONTO DE AMOSTRAGEM .....	137

## ANEXO 1

TABELA 1 - DOSAGENS DE CARBONATO DE CÁLCIO PARA TRATAMENTO DO SOLO DE ARAPOTI

Tratamento	pH H <sub>2</sub> O a Atingir	Repetições	Amostra Referencia	Peso Solo com embalagem (Kg)	Peso sem Embalagem (Kg)	Umidade media Solo (%)	Massa seca de Solo (Kg)	Dosagem Material (Kg)	Dosagem Material (g)	Dosagem Final CaCO <sub>3</sub> (g)	H <sub>2</sub> O Aplicado (mL)
<b>CaCO<sub>3</sub> I</b>	pH 5,5	1	1	1483,74	1,484	8,912	1,352	0,001	1,014	1,014	158,83
		2	2	1801,93	1,597	8,912	1,455	0,001	1,091	1,091	171,00
		3	3	1506,54	1,502	8,912	1,368	0,001	1,026	1,026	160,79
		4	4	1392,25	1,388	8,912	1,264	0,001	0,948	0,948	148,56
<b>CaCO<sub>3</sub> II</b>	pH 6,0	1	5	1444,20	1,440	8,912	1,311	0,002	1,967	1,967	154,12
		2	6	1790,70	1,786	8,912	1,627	0,002	2,441	2,441	191,21
		3	7	1377,48	1,373	8,912	1,251	0,002	1,876	1,876	146,98
		4	8	1347,16	1,343	8,912	1,223	0,002	1,835	1,835	143,73
<b>CaCO<sub>3</sub> III</b>	pH 6,5	1	9	1522,16	1,518	8,912	1,382	0,004	4,147	4,147	162,46
		2	10	1483,93	1,479	8,912	1,348	0,004	4,043	4,043	158,37
		3	11	1472,26	1,468	8,912	1,337	0,004	4,011	4,011	157,12
		4	12	1405,51	1,401	8,912	1,276	0,004	3,828	3,828	149,98
<b>CaCO<sub>3</sub> IV</b>	pH 7,0	1	13	1384,66	1,360	8,912	1,239	0,007	7,434	7,434	145,60
		2	14	1593,45	1,589	8,912	1,447	0,009	8,684	8,684	170,09
		3	15	1427,85	1,423	8,912	1,297	0,008	7,779	7,779	152,37
		4	16	1539,69	1,535	8,912	1,398	0,008	8,390	8,390	164,34
<b>Testemunha</b>		1	25	1515,36	1,511	8,912	1,376	0,000	0,000	0,000	161,74
		2	26	1450,03	1,446	8,912	1,317	0,000	0,000	0,000	154,74
		3	27	1379,76	1,375	8,912	1,253	0,000	0,000	0,000	147,22
		4	28	1794,65	1,790	8,912	1,631	0,000	0,000	0,000	191,63

## ANEXO 1

TABELA 2 - DOSAGENS DE CARBONATO DE CÁLCIO PARA TRATAMENTO DO SOLO DE PONTA GROSSA

Tratamento	pH H <sub>2</sub> O a Atingir	Repetições	Amostra Referência	Peso Solo com embalagem (Kg)	Peso sem Embalagem (Kg)	Unidade média Solo (%)	Massa seca de Solo (Kg)	Dosagem Material (Kg)	Dosagem Material (g)	Dosagem Final CaCO <sub>3</sub> (g)	H <sub>2</sub> O Aplicado (ml)
<b>CaCO<sub>3</sub> I</b>	pH 5,5	1	1	1457,45	1,457	8,993	1,326	0,000	0,414	0,414	149,79
		2	2	1496,17	1,492	8,993	1,368	0,000	0,424	0,424	153,31
		3	3	1548,21	1,544	8,993	1,405	0,000	0,439	0,439	158,66
		4	4	1438,12	1,434	8,993	1,305	0,000	0,408	0,408	147,34
<b>CaCO<sub>3</sub> II</b>	pH 6,0	1	5	1589,69	1,585	8,993	1,443	0,001	0,902	0,902	162,92
		2	6	1565,15	1,561	8,993	1,420	0,001	0,888	0,888	160,40
		3	7	1519,60	1,515	8,993	1,379	0,001	0,862	0,862	155,72
		4	8	1588,72	1,584	8,993	1,424	0,001	0,890	0,890	160,76
<b>CaCO<sub>3</sub> III</b>	pH 6,5	1	9	1459,41	1,455	8,993	1,324	0,002	1,655	1,655	149,53
		2	10	1359,25	1,355	8,993	1,233	0,002	1,541	1,541	139,24
		3	11	1473,62	1,469	8,993	1,337	0,002	1,671	1,671	150,99
		4	12	1535,12	1,531	8,993	1,393	0,002	1,741	1,741	157,31
<b>CaCO<sub>3</sub> IV</b>	pH 7,0	1	13	1512,39	1,508	8,993	1,372	0,003	3,431	3,431	154,98
		2	14	1489,37	1,465	8,993	1,333	0,003	3,333	3,333	150,55
		3	15	1499,53	1,495	8,993	1,361	0,003	3,401	3,401	153,65
		4	16	1486,01	1,482	8,993	1,348	0,003	3,371	3,371	152,26
<b>Testemunha</b>		1	25	1516,06	1,512	8,993	1,376	0,000	0,000	0,000	155,35
		2	26	1549,13	1,545	8,993	1,406	0,000	0,000	0,000	158,75
		3	27	1492,02	1,488	8,993	1,354	0,000	0,000	0,000	152,88
		4	28	1519,65	1,515	8,993	1,379	0,000	0,000	0,000	155,72



## ANEXO 1

TABELA 3 - DOSAGENS DE CARBONATO DE CÁLCIO PARA TRATAMENTO DO SOLO DE PALMEIRA

Tratamento	pH H <sub>2</sub> O a Atingir	Repetições	Amostra Referência	Peso Solo com embalagem (Kg)	Peso sem Embalagem (Kg)	Umidade média Solo (%)	Massa seca de Solo (Kg)	Dosagem Material (Kg)	Dosagem Material (g)	Dosagem Final CaCO <sub>3</sub> (g)	H <sub>2</sub> O Aplicado (ml)
<b>CaCO<sub>3</sub> I</b>	pH 5,5	1	1	1421,99	1,417	8,684	1,294	0,001	0,566	0,566	142,01
		2	2	1317,37	1,312	8,684	1,198	0,001	0,524	0,524	131,53
		3	3	1413,69	1,409	8,684	1,286	0,001	0,563	0,563	141,18
		4	4	1377,53	1,373	8,684	1,253	0,001	0,548	0,548	137,56
<b>CaCO<sub>3</sub> II</b>	pH 6,0	1	5	1386,44	1,382	8,684	1,262	0,001	1,104	1,104	138,45
		2	6	1322,43	1,317	8,684	1,203	0,001	1,053	1,053	132,03
		3	7	1340,09	1,335	8,684	1,219	0,001	1,067	1,067	133,80
		4	8	1374,28	1,369	8,684	1,250	0,001	1,094	1,094	137,23
<b>CaCO<sub>3</sub> III</b>	pH 6,5	1	9	1417,39	1,412	8,684	1,290	0,002	2,257	2,257	141,55
		2	10	1223,29	1,218	8,684	1,113	0,002	1,947	1,947	122,10
		3	11	1366,15	1,361	8,684	1,243	0,002	2,175	2,175	136,42
		4	12	1294,84	1,290	8,684	1,178	0,002	2,061	2,061	129,27
<b>CaCO<sub>3</sub> IV</b>	pH 7,0	1	13	1474,11	1,469	8,684	1,342	0,005	4,696	4,696	147,24
		2	14	1500,41	1,495	8,684	1,366	0,005	4,780	4,780	149,87
		3	15	1377,13	1,372	8,684	1,253	0,004	4,386	4,386	137,52
		4	16	1474,50	1,470	8,684	1,342	0,005	4,697	4,697	147,27
<b>Testemunha</b>		1	25	1503,73	1,499	8,684	1,369	0,000	0,000	0,000	150,20
		2	26	1539,60	1,535	8,684	1,401	0,000	0,000	0,000	153,80
		3	27	1498,20	1,494	8,684	1,365	0,000	0,000	0,000	149,75
		4	28	1463,87	1,459	8,684	1,332	0,000	0,000	0,000	146,21

## ANEXO 1

TABELA 4 - DOSAGENS DE CARBONATO DE CÁLCIO PARA TRATAMENTO DO SOLO DE CONTENDA

Tratamento	pH H <sub>2</sub> O a Atingir	Repetições	Amostra Referencia	Peso Solo com embalagem (Kg)	Peso sem Embalagem (Kg)	Umidade media Solo (%)	Massa seca de Solo (Kg)	Dosagem Material (Kg)	Dosagem Material (g)	Dosagem Final CaCO <sub>3</sub> (g)	H <sub>2</sub> O Aplicado (ml)
<b>CaCO<sub>3</sub> I</b>	pH 5,5	1	1	1217,97	1,218	7,856	1,122	0,001	1,403	1,403	256,66
		2	2	1008,93	1,004	7,856	0,926	0,001	1,157	1,157	211,66
		3	3	1201,08	1,197	7,856	1,103	0,001	1,378	1,378	252,15
		4	4	1234,63	1,230	7,856	1,134	0,001	1,417	1,417	259,22
<b>CaCO<sub>3</sub> II</b>	pH 6,0	1	5	1139,61	1,135	7,856	1,046	0,003	2,615	2,615	239,20
		2	6	1060,08	1,060	7,856	0,977	0,002	2,442	2,442	223,39
		3	7	1173,06	1,169	7,856	1,077	0,003	2,692	2,692	246,25
		4	8	1235,95	1,231	7,856	1,135	0,003	2,837	2,837	259,50
<b>CaCO<sub>3</sub> III</b>	pH 6,5	1	9	1227,17	1,223	7,856	1,127	0,006	5,633	5,633	257,65
		2	10	1013,26	1,009	7,856	0,930	0,005	4,648	4,648	212,58
		3	11	1172,90	1,168	7,856	1,077	0,005	5,383	5,383	246,22
		4	12	1182,08	1,178	7,856	1,085	0,005	5,425	5,425	248,15
<b>CaCO<sub>3</sub> IV</b>	pH 7,0	1	13	1296,64	1,292	7,856	1,191	0,012	11,906	11,906	272,29
		2	14	1238,48	1,234	7,856	1,137	0,011	11,370	11,370	260,04
		3	15	1140,84	1,136	7,856	1,047	0,010	10,471	10,471	239,46
		4	16	1216,33	1,212	7,856	1,117	0,011	11,166	11,166	255,37
<b>Testemunha</b>		1	25	1161,40	1,157	7,856	1,066	0,000	0,000	0,000	243,79
		2	26	1188,64	1,184	7,856	1,091	0,000	0,000	0,000	249,53
		3	27	1228,25	1,224	7,856	1,128	0,000	0,000	0,000	257,88
		4	28	1274,29	1,270	7,856	1,170	0,000	0,000	0,000	267,58

## ANEXO 1

TABELA 5 - DOSAGENS DE CARBONATO DE CÁLCIO PARA TRATAMENTO DO SOLO DE CASCAVEL

Tratamento	pH H <sub>2</sub> O a Atingir	Repetições	Amostra Referência	Peso Solo com embalagem (Kg)	Peso sem Embalagem (Kg)	Umidade média Solo (%)	Massa seca de Solo (Kg)	Dosagem Material (Kg)	Dosagem Material (g)	Dosagem Final CaCO <sub>3</sub> (g)	H <sub>2</sub> O Aplicado (ml)
<b>CaCO<sub>3</sub> I</b>	pH 5,5	1	1	2000,43	1,991	29,193	1,410	0,003	3,063	3,083	699,37
		2	2	1999,01	1,979	29,193	1,401	0,003	3,066	3,066	695,35
		3	3	1994,72	1,975	29,193	1,398	0,003	3,059	3,059	693,85
		4	4	1976,24	1,966	29,193	1,392	0,003	3,046	3,046	690,87
<b>CaCO<sub>3</sub> II</b>	pH 6,0	1	5	1984,53	1,975	29,193	1,398	0,006	6,117	6,117	693,78
		2	6	1981,30	1,972	29,193	1,396	0,006	6,107	6,107	692,64
		3	7	1980,43	1,981	29,193	1,402	0,006	6,136	6,136	695,85
		4	8	1977,29	1,968	29,193	1,393	0,006	6,095	6,095	691,24
<b>CaCO<sub>3</sub> III</b>	pH 6,5	1	9	1995,45	1,986	29,193	1,406	0,012	12,303	12,303	697,62
		2	10	1978,51	1,969	29,193	1,394	0,012	12,198	12,198	691,66
		3	11	1990,61	1,981	29,193	1,403	0,012	12,273	12,273	695,92
		4	12	1988,16	1,978	29,193	1,401	0,012	12,257	12,257	695,06
<b>CaCO<sub>3</sub> IV</b>	pH 7,0	1	13	1979,21	1,969	29,193	1,395	0,024	24,404	24,404	691,91
		2	14	1982,94	1,973	29,193	1,397	0,024	24,450	24,450	693,22
		3	15	2000,67	1,991	29,193	1,410	0,025	24,670	24,670	699,45
		4	16	1985,01	1,975	29,193	1,399	0,024	24,476	24,476	693,95
<b>Testemunha</b>		1	25	1979,92	1,970	29,193	1,395	0,000	0,000	0,000	692,16
		2	26	1994,89	1,985	29,193	1,406	0,000	0,000	0,000	697,42
		3	27	1903,74	1,894	29,193	1,341	0,000	0,000	0,000	665,40
		4	28	1982,87	1,973	29,193	1,397	0,000	0,000	0,000	693,20

## ANEXO 2

TABELA 1 - MODELO DE FORMULÁRIO PARA REGISTRO DE LEITURA DE pH DURANTE INCUBAÇÃO



Universidade Federal do Paraná - UFPR  
Setor de Ciências Agrárias  
Laboratório de Química e Fertilidade do Solo

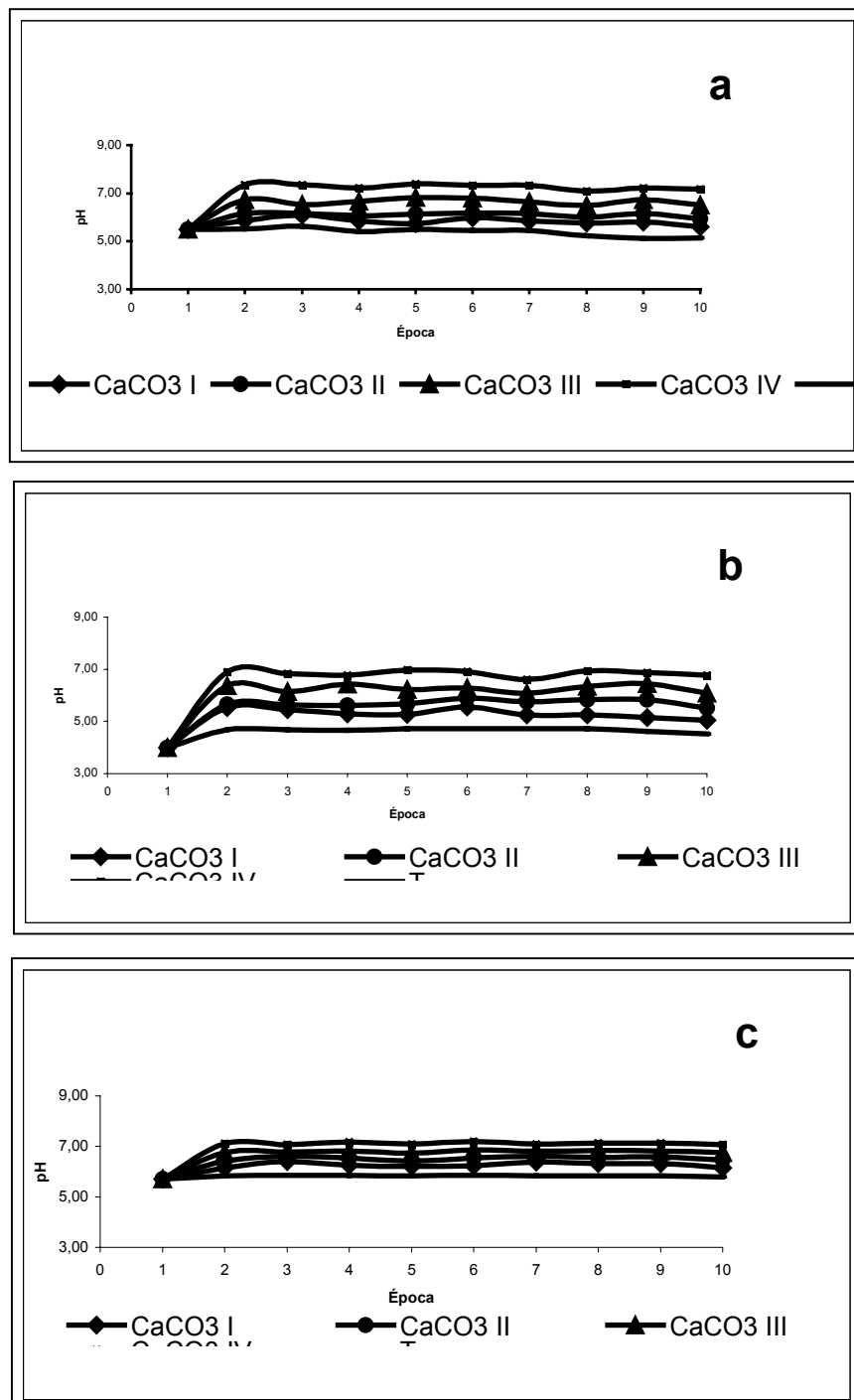
### Análise de Solo de Palmeira Identificação AZUL

Data da Amostragem: \_\_\_\_/\_\_\_\_/2004

Tratamento	Repetições	Alíquota	pH H <sub>2</sub> O	pH CaCl <sub>2</sub>	pH SMP
CaCO <sup>3</sup> I	1	1			
	2	2			
	3	3			
	4	4			
CaCO <sup>3</sup> II	1	5			
	2	6			
	3	7			
	4	8			
CaCO <sup>3</sup> III	1	9			
	2	10			
	3	11			
	4	12			
CaCO <sup>3</sup> IV	1	13			
	2	14			
	3	15			
	4	16			
N-Viro	1	17			
	2	18			
	3	19			
	4	20			
N-Soil	1	21			
	2	22			
	3	23			
	4	24			
Testemunha	1	25			
	2	26			
	3	27			
	4	28			

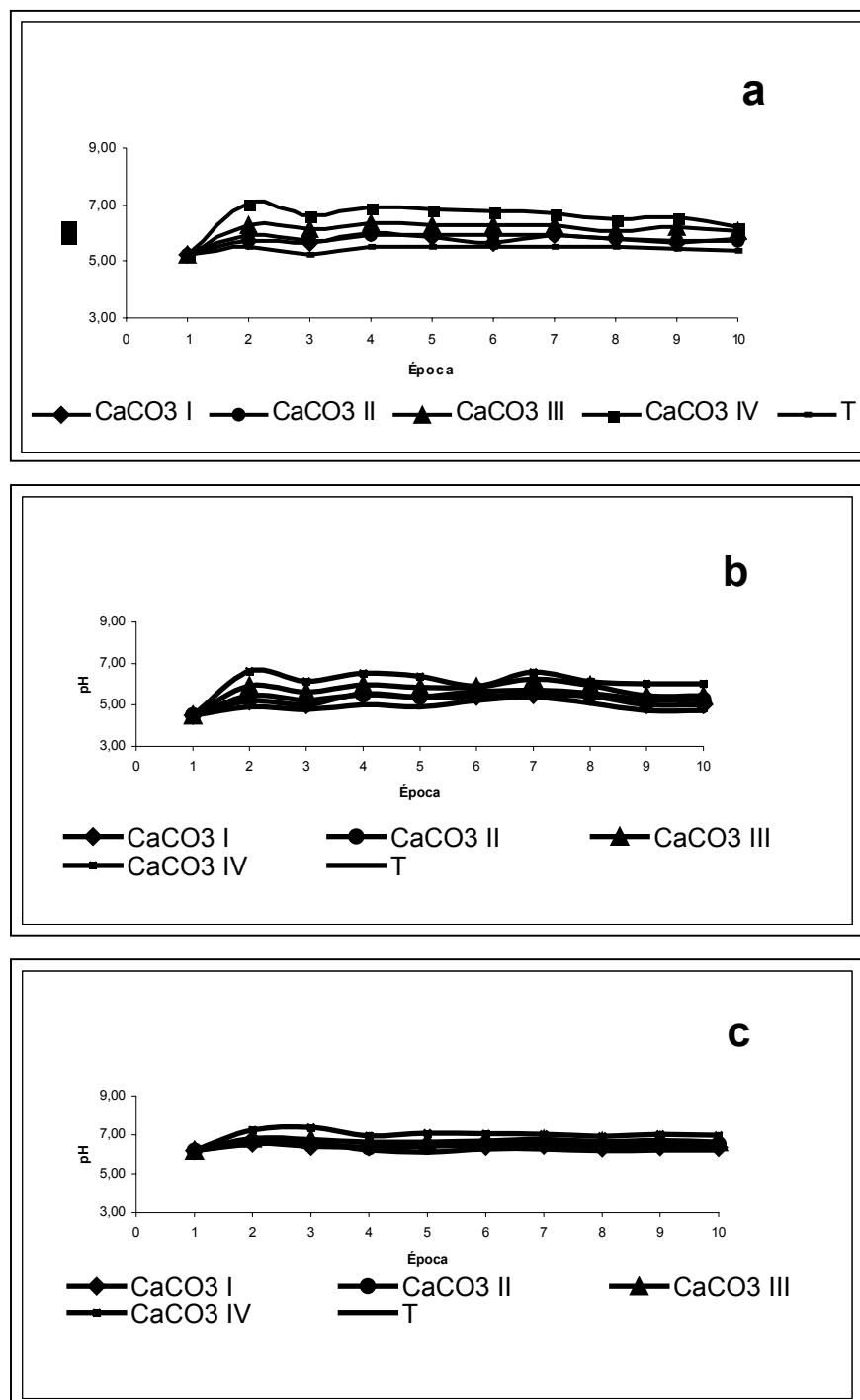
### ANEXO 3

FIGURA 1 - CURVAS DE NEUTRALIZAÇÃO DO SOLO DE ARAPOTI EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CARBONATO DE CÁLCIO APLICADAS. SENDO (a) pH EM ÁGUA, (b) pH  $\text{CaCl}_2$  e (c) pH SMP



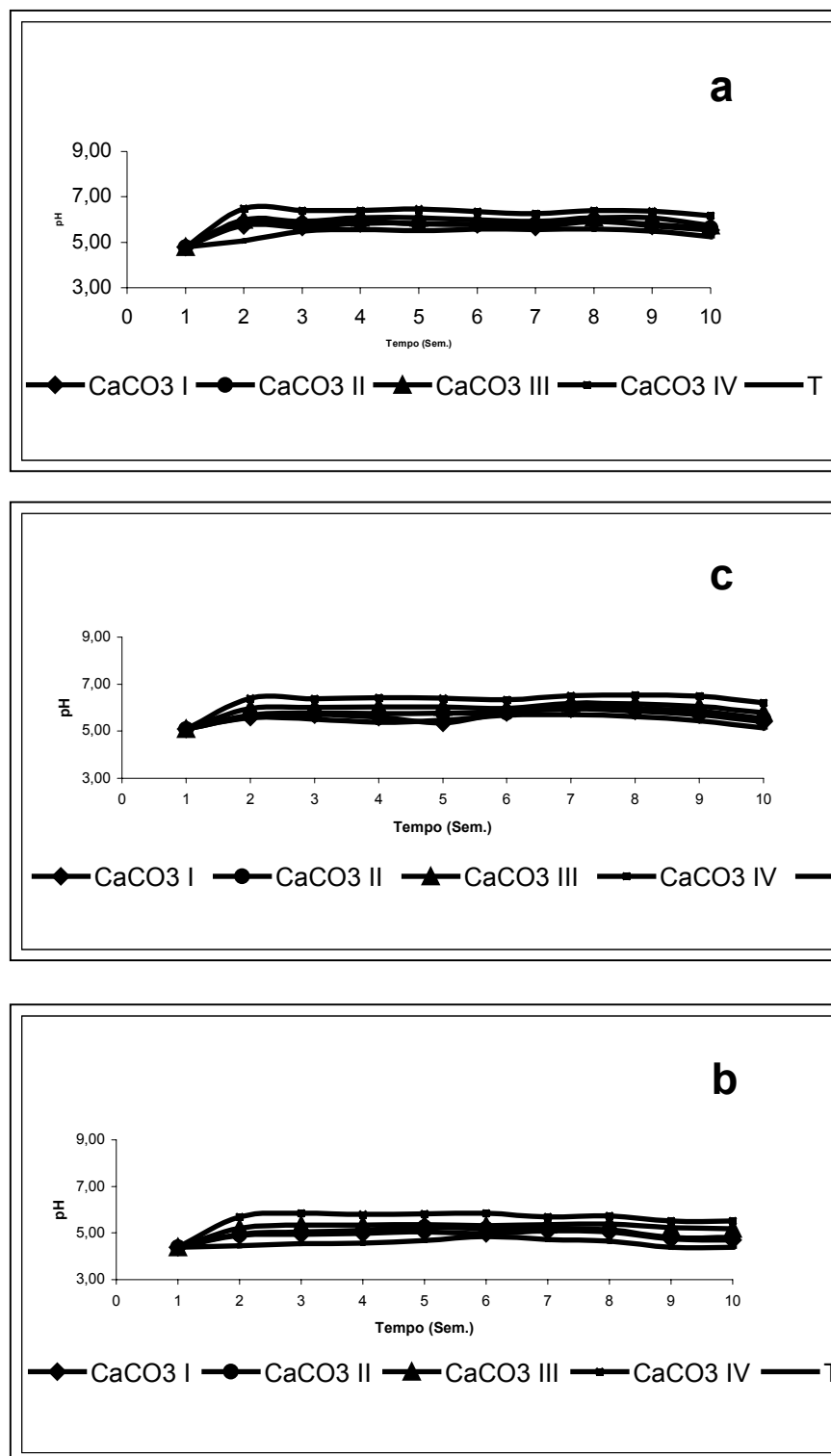
### ANEXO 3

FIGURA 2 - CURVAS DE NEUTRALIZAÇÃO DO SOLO DE PONTA GROSSA EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CARBONATO DE CÁLCIO APLICADAS. SENDO (a) pH EM ÁGUA, (b) pH  $\text{CaCl}_2$  e (c) pH SMP



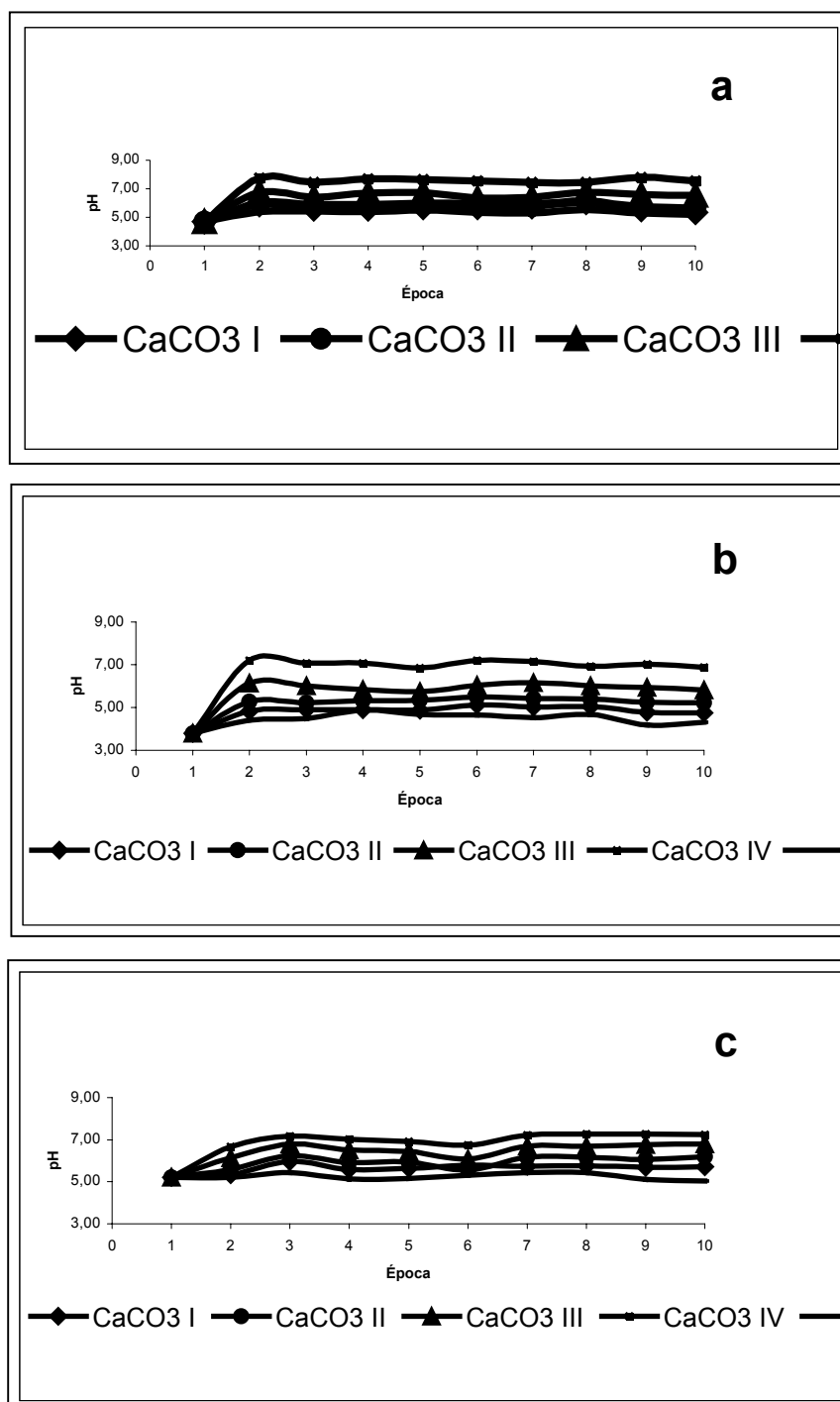
### ANEXO 3

FIGURA 3 - CURVAS DE NEUTRALIZAÇÃO DO SOLO DE PALMEIRA EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CARBONATO DE CÁLCIO APLICADAS. SENDO (a) pH EM ÁGUA, (b) pH  $\text{CaCl}_2$  e (c) pH SMP



### ANEXO 3

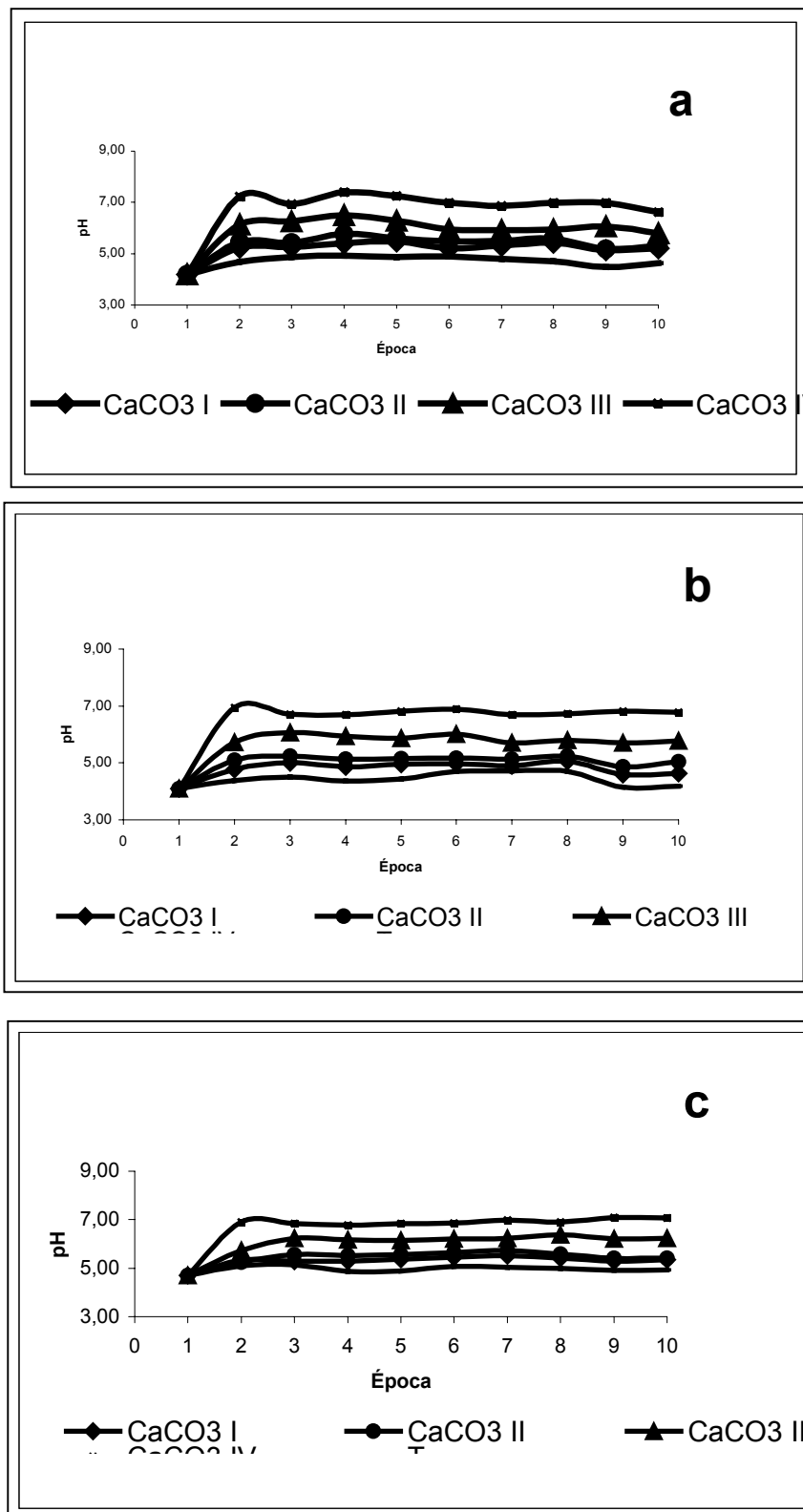
FIGURA 4 - CURVAS DE NEUTRALIZAÇÃO DO SOLO DE CONTENDA EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CARBONATO DE CÁLCIO APLICADAS. SENDO (a) pH EM ÁGUA, (b) pH  $\text{CaCl}_2$  e (c) pH SMP





### ANEXO 3

FIGURA 5 - CURVAS DE NEUTRALIZAÇÃO DO SOLO DE CASCAVEL EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CARBONATO DE CÁLCIO APLICADAS. SENDO (a) pH EM ÁGUA, (b) pH  $\text{CaCl}_2$  e (c) pH SMP



## ANEXO 4

QUADRO 1 - DEMONSTRAÇÃO DAS MÉDIAS DAS LEITURAS SEMANAIS DE pH DO SOLO DE ARAPOTI E PONTA GROSSA

SOLO DE ARAPOTI											
Método	Tratamento	ÉPOCA DE LEITURA									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
pH água	CaCO <sub>3</sub> I	5,50	5,88	6,09	5,84	5,74	5,99	5,84	5,76	5,81	5,59
	CaCO <sub>3</sub> II	5,50	6,15	6,16	6,06	6,13	6,18	6,15	6,00	6,16	5,93
	CaCO <sub>3</sub> III	5,50	6,73	6,54	6,66	6,82	6,81	6,65	6,49	6,73	6,51
	CaCO <sub>3</sub> IV	5,50	7,35	7,34	7,21	7,39	7,33	7,32	7,08	7,22	7,18
	Testemunha	5,50	5,53	5,62	5,41	5,50	5,45	5,46	5,24	5,12	5,14
pH CaCl <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub> I	4,00	5,54	5,46	5,30	5,27	5,55	5,25	5,25	5,16	5,05
	CaCO <sub>3</sub> II	4,00	5,65	5,64	5,62	5,68	5,90	5,76	5,83	5,84	5,52
	CaCO <sub>3</sub> III	4,00	6,36	6,14	6,42	6,23	6,28	6,08	6,35	6,45	6,08
	CaCO <sub>3</sub> IV	4,00	6,90	6,82	6,78	6,98	6,91	6,61	6,92	6,87	6,78
	Testemunha	4,00	4,69	4,68	4,67	4,73	4,73	4,73	4,73	4,62	4,53
pH SMP	CaCO <sub>3</sub> I	5,70	6,15	6,40	6,25	6,22	6,24	6,37	6,31	6,32	6,14
	CaCO <sub>3</sub> II	5,70	6,41	6,61	6,54	6,41	6,55	6,61	6,58	6,58	6,46
	CaCO <sub>3</sub> III	5,70	6,76	6,78	6,81	6,74	6,86	6,83	6,83	6,83	6,77
	CaCO <sub>3</sub> IV	5,70	7,12	7,06	7,17	7,10	7,20	7,10	7,13	7,12	7,06
	Testemunha	5,70	5,84	5,85	5,85	5,84	5,85	5,82	5,84	5,84	5,79

SOLO DE PONTA GROSSA											
Método	Tratamento	ÉPOCA DE LEITURA									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
pH água	CaCO <sub>3</sub> I	5,20	5,71	5,63	5,99	5,90	5,66	5,91	5,78	5,67	5,76
	CaCO <sub>3</sub> II	5,20	5,92	5,74	5,96	5,92	5,90	5,95	5,80	5,73	5,70
	CaCO <sub>3</sub> III	5,20	6,31	6,16	6,34	6,28	6,25	6,25	6,10	6,21	6,08
	CaCO <sub>3</sub> IV	5,20	7,04	6,63	6,91	6,82	6,74	6,70	6,49	6,56	6,22
	Testemunha	5,20	5,50	5,26	5,53	5,53	5,50	5,50	5,50	5,42	5,37
pH CaCl <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub> I	4,50	5,19	5,00	5,54	5,37	5,41	5,50	5,42	5,02	5,02
	CaCO <sub>3</sub> II	4,50	5,44	5,23	5,50	5,40	5,64	5,72	5,58	5,27	5,27
	CaCO <sub>3</sub> III	4,50	5,93	5,63	5,99	5,85	5,88	6,25	5,94	5,44	5,44
	CaCO <sub>3</sub> IV	4,50	6,65	6,16	6,54	6,38	5,92	6,58	6,14	6,02	6,02
	Testemunha	4,50	4,92	4,77	5,01	4,90	5,22	5,39	5,08	4,73	4,73
pH SMP	CaCO <sub>3</sub> I	6,20	6,58	6,39	6,37	6,49	6,40	6,46	6,34	6,37	6,35
	CaCO <sub>3</sub> II	6,20	6,65	6,49	6,36	6,40	6,51	6,54	6,45	6,53	6,51
	CaCO <sub>3</sub> III	6,20	6,81	6,75	6,63	6,61	6,68	6,77	6,65	6,72	6,62
	CaCO <sub>3</sub> IV	6,20	7,24	7,37	6,95	7,09	7,05	7,03	6,93	7,04	6,98
	Testemunha	6,20	6,51	6,62	6,23	6,12	6,27	6,28	6,19	6,22	6,22

## ANEXO 4

QUADRO 2 - DEMONSTRAÇÃO DAS MÉDIAS DAS LEITURAS SEMANAIS DE pH DO SOLO DE PALMEIRA E CONTENDA

SOLO DE PALMEIRA											
Método	Tratamento	ÉPOCA DE LEITURA									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
pH água	CaCO <sub>3</sub> I	4,80	5,75	5,67	5,83	5,83	5,79	5,67	5,92	5,73	5,53
	CaCO <sub>3</sub> II	4,80	5,83	5,80	5,94	5,80	5,78	5,78	5,97	5,79	5,62
	CaCO <sub>3</sub> III	4,80	5,99	5,92	6,07	6,07	5,98	5,91	6,08	6,08	5,75
	CaCO <sub>3</sub> IV	4,80	6,49	6,39	6,40	6,46	6,34	6,25	6,39	6,37	6,18
	Testemunha	4,80	5,06	5,48	5,56	5,52	5,59	5,57	5,59	5,50	5,24
pH CaCl <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub> I	4,40	4,90	4,94	4,99	5,06	4,99	5,09	5,05	4,73	4,70
	CaCO <sub>3</sub> II	4,40	4,93	5,06	5,12	5,25	5,18	5,18	5,15	4,80	4,82
	CaCO <sub>3</sub> III	4,40	5,20	5,35	5,34	5,35	5,32	5,36	5,39	5,23	5,18
	CaCO <sub>3</sub> IV	4,40	5,70	5,85	5,80	5,83	5,85	5,68	5,73	5,53	5,51
	Testemunha	4,40	4,46	4,55	4,57	4,67	4,84	4,71	4,67	4,38	4,39
pH SMP	CaCO <sub>3</sub> I	5,10	5,60	5,71	5,60	5,35	5,79	5,95	5,85	5,70	5,41
	CaCO <sub>3</sub> II	5,10	5,68	5,78	5,75	5,77	5,78	6,04	5,97	5,87	5,53
	CaCO <sub>3</sub> III	5,10	5,98	6,02	6,02	6,03	5,98	6,19	6,16	6,06	5,79
	CaCO <sub>3</sub> IV	5,10	6,40	6,39	6,43	6,41	6,34	6,51	6,54	6,50	6,22
	Testemunha	5,10	5,58	5,51	5,39	5,47	5,68	5,71	5,62	5,44	5,15

SOLO DE CONTENDA											
Método	Tratamento	ÉPOCA DE LEITURA									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
pH água	CaCO <sub>3</sub> I	4,70	5,92	5,58	5,60	5,71	5,71	5,77	6,05	5,54	5,37
	CaCO <sub>3</sub> II	4,70	6,03	5,88	5,88	5,98	5,95	5,94	6,13	5,74	5,66
	CaCO <sub>3</sub> III	4,70	6,74	6,39	6,72	6,78	6,38	6,42	6,74	6,60	6,54
	CaCO <sub>3</sub> IV	4,70	7,73	7,45	7,70	7,68	7,53	7,45	7,44	7,80	7,56
	Testemunha	4,70	5,38	5,43	5,40	5,48	5,35	5,33	5,56	5,31	5,21
pH CaCl <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub> I	3,80	4,82	4,89	4,90	4,88	5,14	5,04	5,06	4,79	4,76
	CaCO <sub>3</sub> II	3,80	5,28	5,23	5,33	5,36	5,48	5,41	5,40	5,24	5,23
	CaCO <sub>3</sub> III	3,80	6,15	6,01	5,84	5,75	6,03	6,15	6,01	5,93	5,81
	CaCO <sub>3</sub> IV	3,80	7,19	7,07	7,07	6,86	7,21	7,14	6,94	7,04	6,88
	Testemunha	3,80	4,40	4,47	4,88	4,68	4,65	4,54	4,69	4,18	4,31
pH SMP	CaCO <sub>3</sub> I	5,20	5,34	5,97	5,58	5,63	5,80	5,74	5,75	5,70	5,71
	CaCO <sub>3</sub> II	5,20	5,58	6,25	5,92	5,95	5,57	6,17	6,16	6,07	6,19
	CaCO <sub>3</sub> III	5,20	6,15	6,80	6,51	6,45	6,10	6,69	6,70	6,77	6,79
	CaCO <sub>3</sub> IV	5,20	6,67	7,16	7,02	6,91	6,75	7,23	7,27	7,28	7,24
	Testemunha	5,20	5,22	5,44	5,13	5,15	5,31	5,43	5,43	5,11	5,03

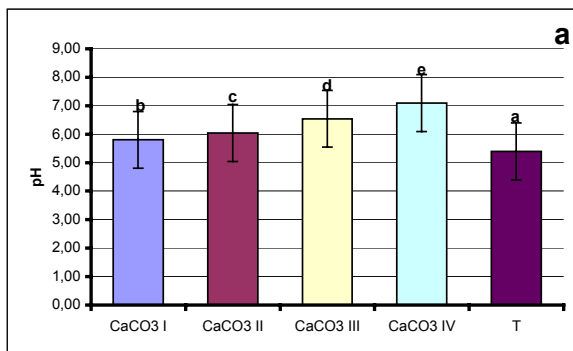
## ANEXO 4

QUADRO 3 - DEMONSTRAÇÃO DAS MÉDIAS DAS LEITURAS SEMANAIS DE pH DO SOLO DE CASCAVEL

SOLO DE CASCAVEL											
Método	Tratamento	ÉPOCA DE LEITURA									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
pH água	CaCO <sub>3</sub> I	4,20	5,24	5,27	5,41	5,47	5,21	5,30	5,43	5,13	5,22
	CaCO <sub>3</sub> II	4,20	5,45	5,44	5,78	5,61	5,47	5,49	5,58	5,20	5,27
	CaCO <sub>3</sub> III	4,20	6,14	6,27	6,51	6,28	5,95	5,93	5,94	6,07	5,80
	CaCO <sub>3</sub> IV	4,20	7,23	6,94	7,40	7,24	6,98	6,87	6,98	6,99	6,61
	Testemunha	4,20	4,69	4,86	4,93	4,88	4,89	4,80	4,71	4,48	4,62
pH CaCl <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub> I	4,10	4,77	5,00	4,87	4,96	4,98	4,90	5,06	4,59	4,64
	CaCO <sub>3</sub> II	4,10	5,10	5,25	5,13	5,15	5,16	5,13	5,25	4,86	5,04
	CaCO <sub>3</sub> III	4,10	5,72	6,06	5,95	5,87	6,01	5,71	5,79	5,70	5,78
	CaCO <sub>3</sub> IV	4,10	6,93	6,70	6,68	6,82	6,88	6,69	6,72	6,82	6,78
	Testemunha	4,10	4,38	4,51	4,37	4,43	4,71	4,73	4,71	4,16	4,19
pH SMP	CaCO <sub>3</sub> I	4,70	5,34	5,29	5,28	5,36	5,46	5,52	5,41	5,30	5,36
	CaCO <sub>3</sub> II	4,70	5,25	5,56	5,52	5,56	5,65	5,73	5,59	5,41	5,41
	CaCO <sub>3</sub> III	4,70	5,72	6,24	6,17	6,14	6,22	6,24	6,38	6,21	6,23
	CaCO <sub>3</sub> IV	4,70	6,90	6,84	6,77	6,84	6,87	6,98	6,90	7,09	7,07
	Testemunha	4,70	5,09	5,14	4,87	4,88	5,07	5,03	5,00	4,91	4,93

## ANEXO 5

FIGURA 1 - TESTE DE TUKEY 5% PARA AS MÉDIAS DE pH DO SOLO DE ARAPOTI. SENDO (a) pH EM H<sub>2</sub>O, (b) pH CaCl<sub>2</sub> e (c) pH SMP

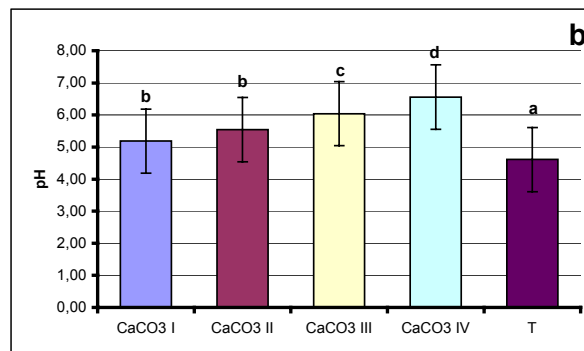


PH\_H2O

TRATAM	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
5	40					
1	40	5,394				
2	40		5,802			
3	40			6,040		
4	40				6,543	
5	40					7,090
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 40,000.

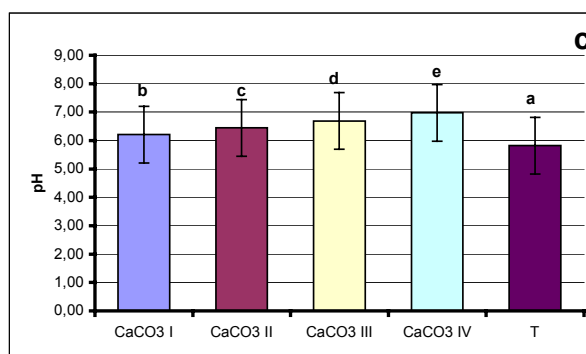


PH\_CACL2

TRATAM	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
5	40				
1	40	4,61			
2	40		5,18		
3	40			5,54	
4	40				6,04
5	40				
Sig.		1,000	,059	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 40,000.



PHSMP

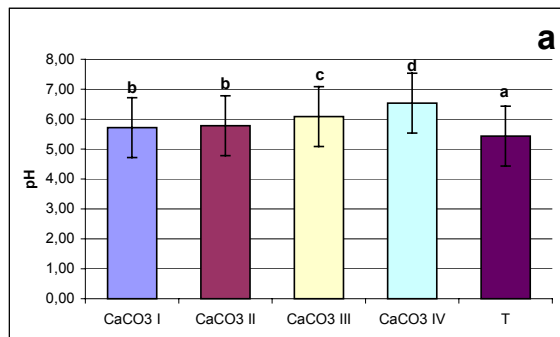
TRATAM	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
5	40					
1	40	5,821				
2	40		6,209			
3	40			6,444		
4	40				6,690	
5	40					6,977
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 40,000.

## ANEXO 5

FIGURA 2 - TESTE DE TUKEY 5% PARA AS MÉDIAS DE pH DO SOLO DE PONTA GROSSA. SENDO (a) pH EM H<sub>2</sub>O, (b) pH CaCl<sub>2</sub> e (c) pH SMP



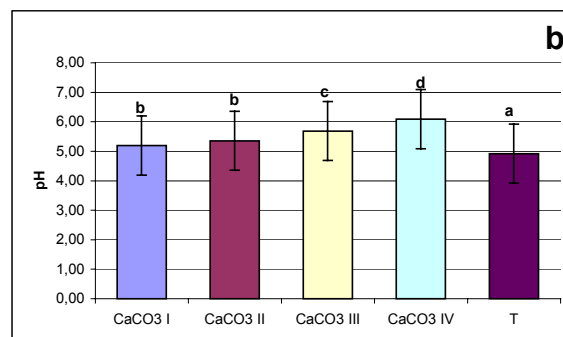
PHH<sub>2</sub>O

Tukey HSD<sup>a</sup>

TRATAM	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
5	40	5,430			
1	40		5,719		
2	40		5,780		
3	40			6,091	
4	40				6,529
Sig.		1,000	,916	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 40,000.



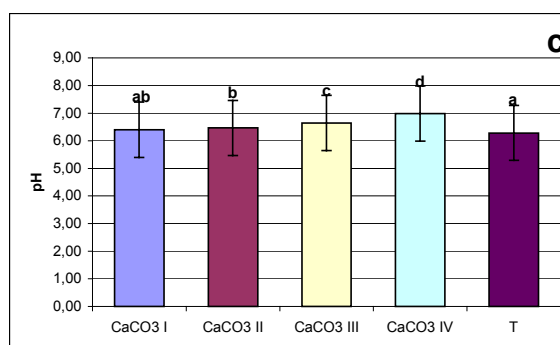
PHCaCl<sub>2</sub>

Tukey HSD<sup>a</sup>

TRATAM	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
5	40	4,937			
1	40		5,205		
2	40		5,359		
3	40			5,723	
4	40				6,135
Sig.		1,000	,474	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 40,000.



PHSMP

Tukey HSD<sup>a</sup>

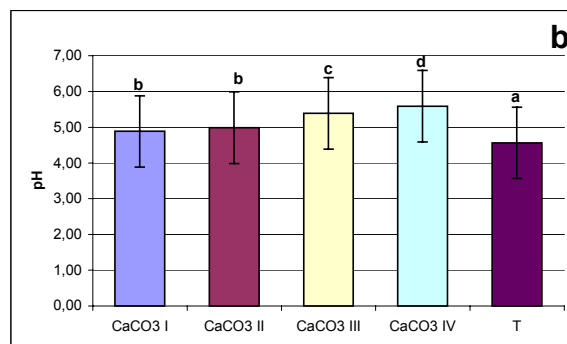
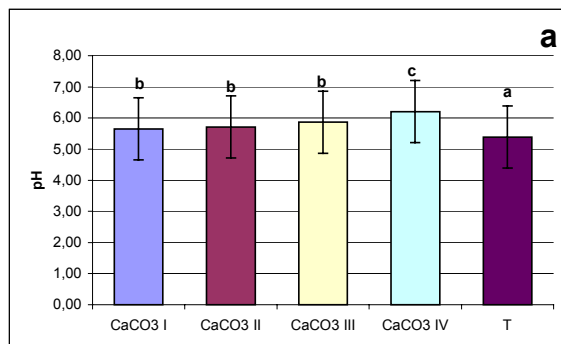
TRATAM	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
5	40	6,284			
1	40	6,393	6,393		
2	40		6,462		
3	40			6,644	
4	40				6,987
Sig.		,093	,521	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 40,000.

## ANEXO 5

FIGURA 3 - TESTE DE TUKEY 5% PARA AS MÉDIAS DE pH DO SOLO DE PALMEIRA. SENDO (a) pH EM H<sub>2</sub>O, (b) pH CaCl<sub>2</sub> e (c) pH SMP



**PHH2O**

Tukey HSD<sup>a</sup>

TRATAM	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
5	40			
1	40	5,389	5,649	
2	40		5,711	
3	40		5,865	
4	40			6,206
Sig.		1,000	,061	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 40,000.

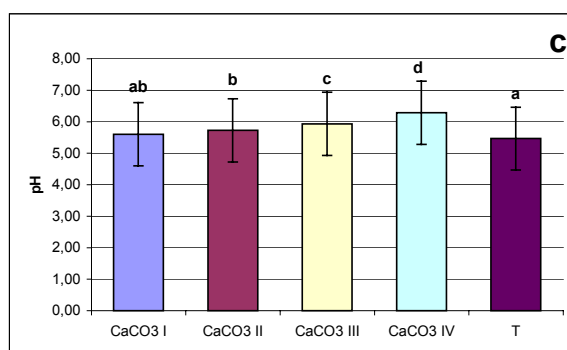
**PHCaCl2**

Tukey HSD<sup>a</sup>

TRATAM	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
5	40	4,564			
1	40		4,884		
2	40		4,990		
3	40			5,209	
4	40				5,587
Sig.		1,000	,441	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 40,000.



**PHSMP**

Tukey HSD<sup>a</sup>

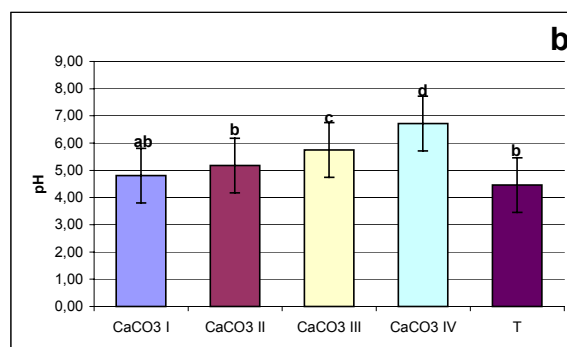
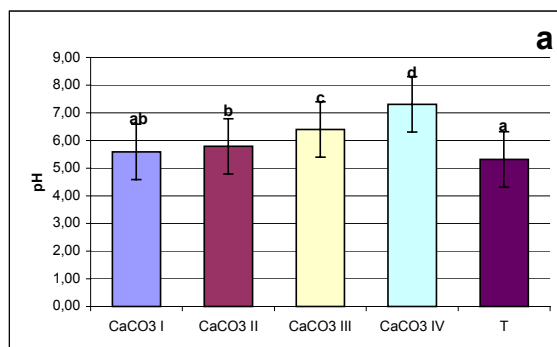
TRATAM	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
5	40	5,464			
1	40	5,604	5,604		
2	40		5,725		
3	40			5,931	
4	40				6,284
Sig.		,230	,374	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 40,000.

## ANEXO 5

FIGURA 4 - TESTE DE TUKEY 5% PARA AS MÉDIAS DE pH DO SOLO DE CONTENDA. SENDO (a) pH EM H<sub>2</sub>O, (b) pH CaCl<sub>2</sub> e (c) pH SMP



**PHCaCL2**

Tukey HSD <sup>a</sup>

TRATAM	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
5	40				
1	40	4,458			
2	40	4,806	4,806		
3	40		5,175		
4	40			5,749	
Sig.					6,718
					1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 40,000.

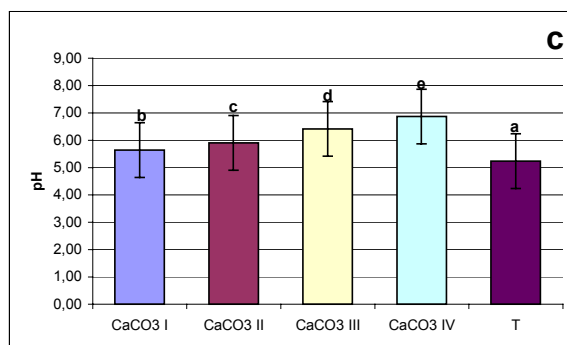
**CaCL2S4**

Tukey HSD <sup>a</sup>

TRAT	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
7	40				
1	40	4,458			
2	40	4,806	4,806		
5	40		5,175		
6	40		5,211		
3	40			5,626	
4	40			5,749	
Sig.					6,718
					1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 40,000.



**PHSMP**

Tukey HSD <sup>a</sup>

TRATAM	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
5	40					
1	40	5,241				
2	40		5,640			
3	40			5,905		
4	40				6,415	
Sig.						6,872
						1,000

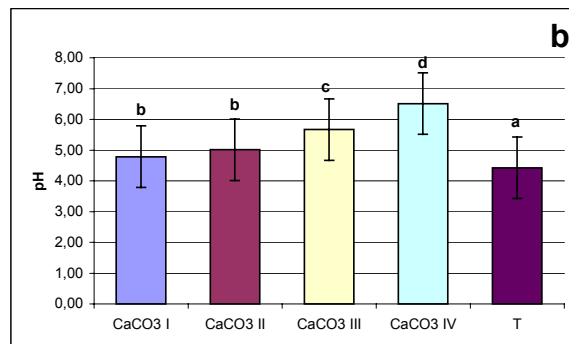
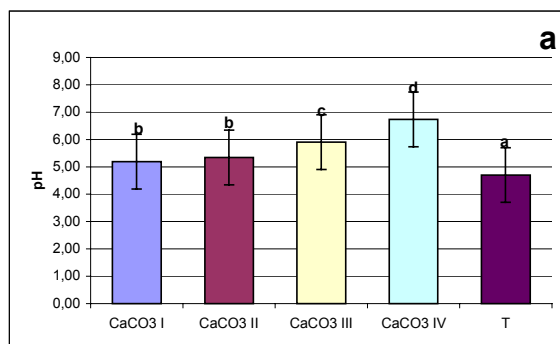
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 40,000.



## ANEXO 5

FIGURA 5 - TESTE DE TUKEY 5% PARA AS MÉDIAS DE pH DO SOLO DE CASCAVEL. SENDO (a) pH EM H<sub>2</sub>O, (b) pH CaCl<sub>2</sub> e (c) pH SMP



PHH2O

Tukey HSD<sup>a</sup>

TRATAM	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
5	40	4,705			
1	40		5,188		
2	40		5,349		
3	40			5,908	
4	40				6,743
Sig.		1,000	,709	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 40,000.

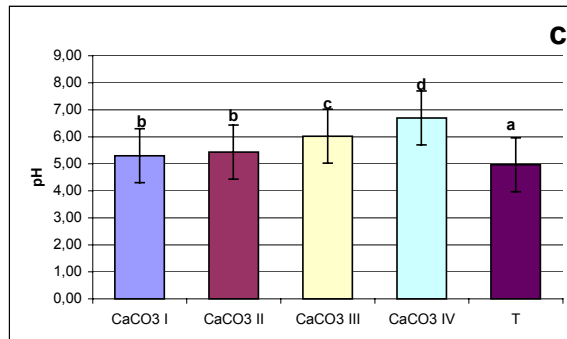
PHCaCl2

Tukey HSD<sup>a</sup>

TRATAM	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
5	40	4,428			
1	40		4,786		
2	40		5,016		
3	40			5,667	
4	40				6,512
Sig.		1,000	,240	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 40,000.



PHSMP

Tukey HSD<sup>a</sup>

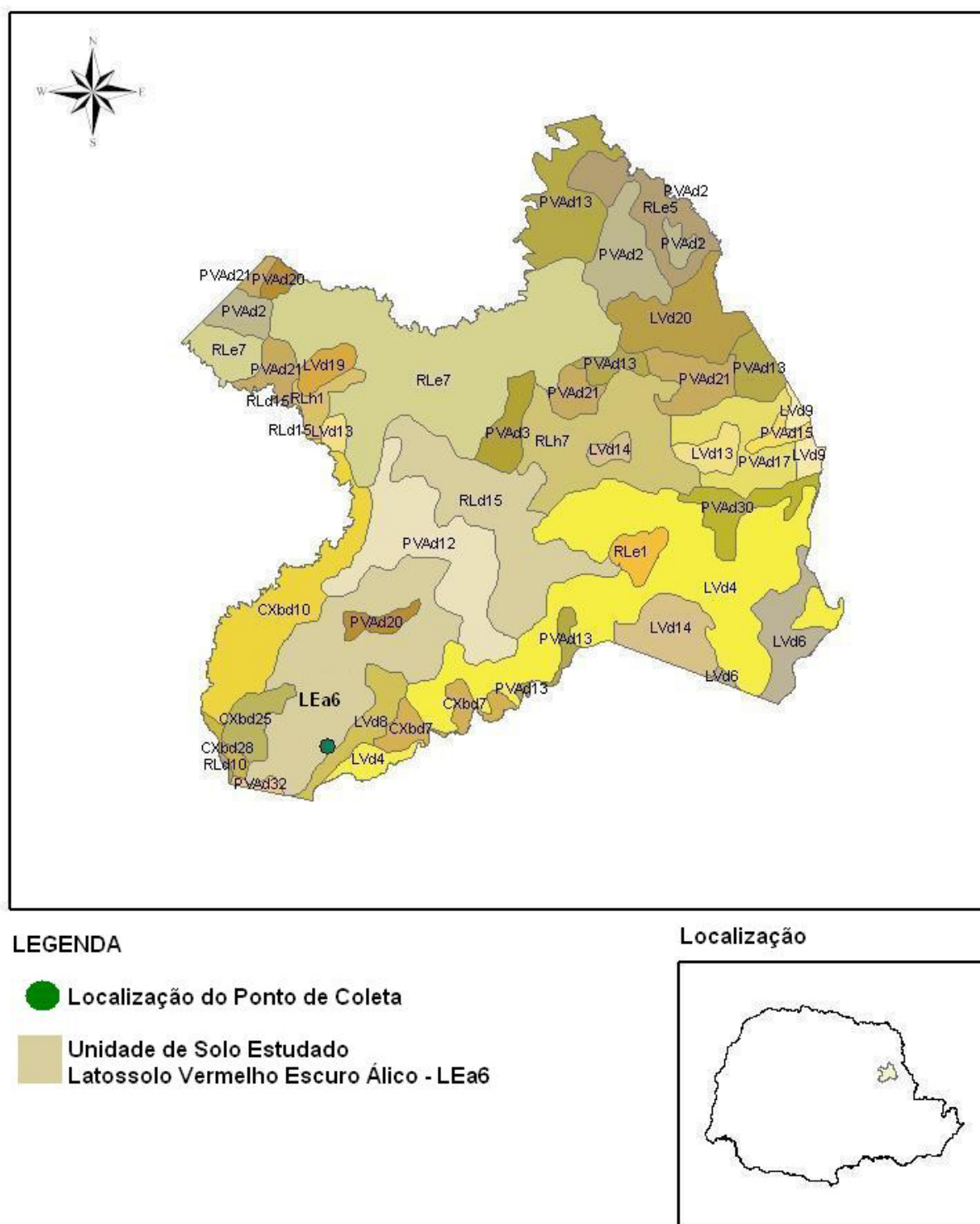
TRATAM	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
5	40	4,962			
1	40		5,300		
2	40		5,437		
3	40			6,023	
4	40				6,695
Sig.		1,000	,587	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 40,000.

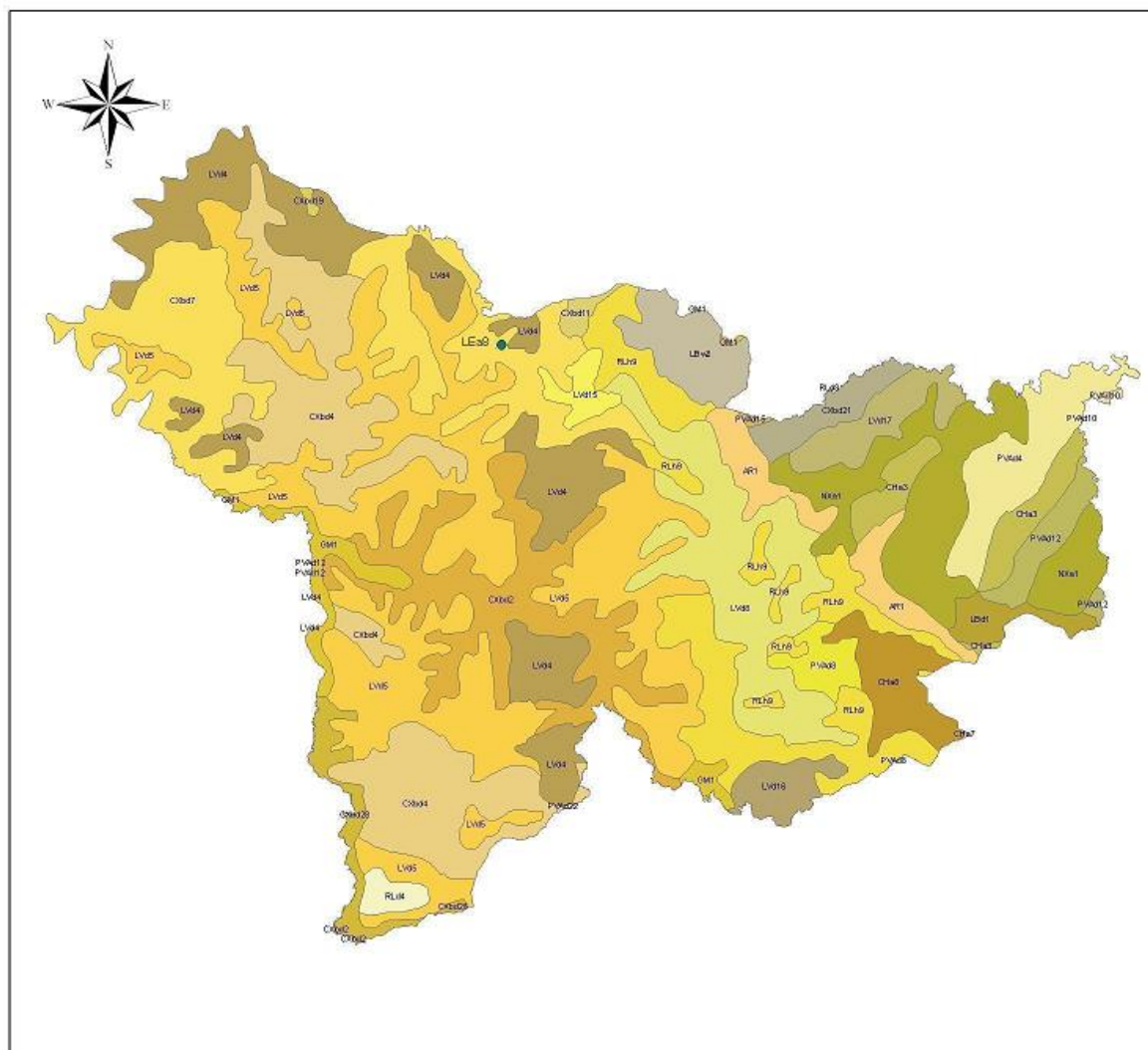
## ANEXO 6

FIGURA 1 - MAPA DE SOLO DE ARAPOTI COM DESTAQUE DO PONTO DE AMOSTRAGEM



## ANEXO 6

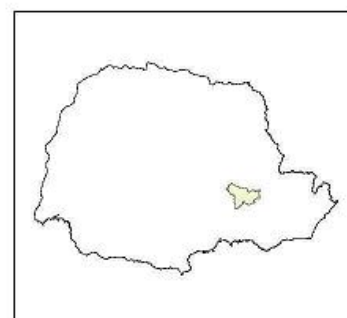
FIGURA 2 - MAPA DE SOLO DE PONTA GROSSA COM DESTAQUE DO PONTO DE AMOSTRAGEM



### LEGENDA

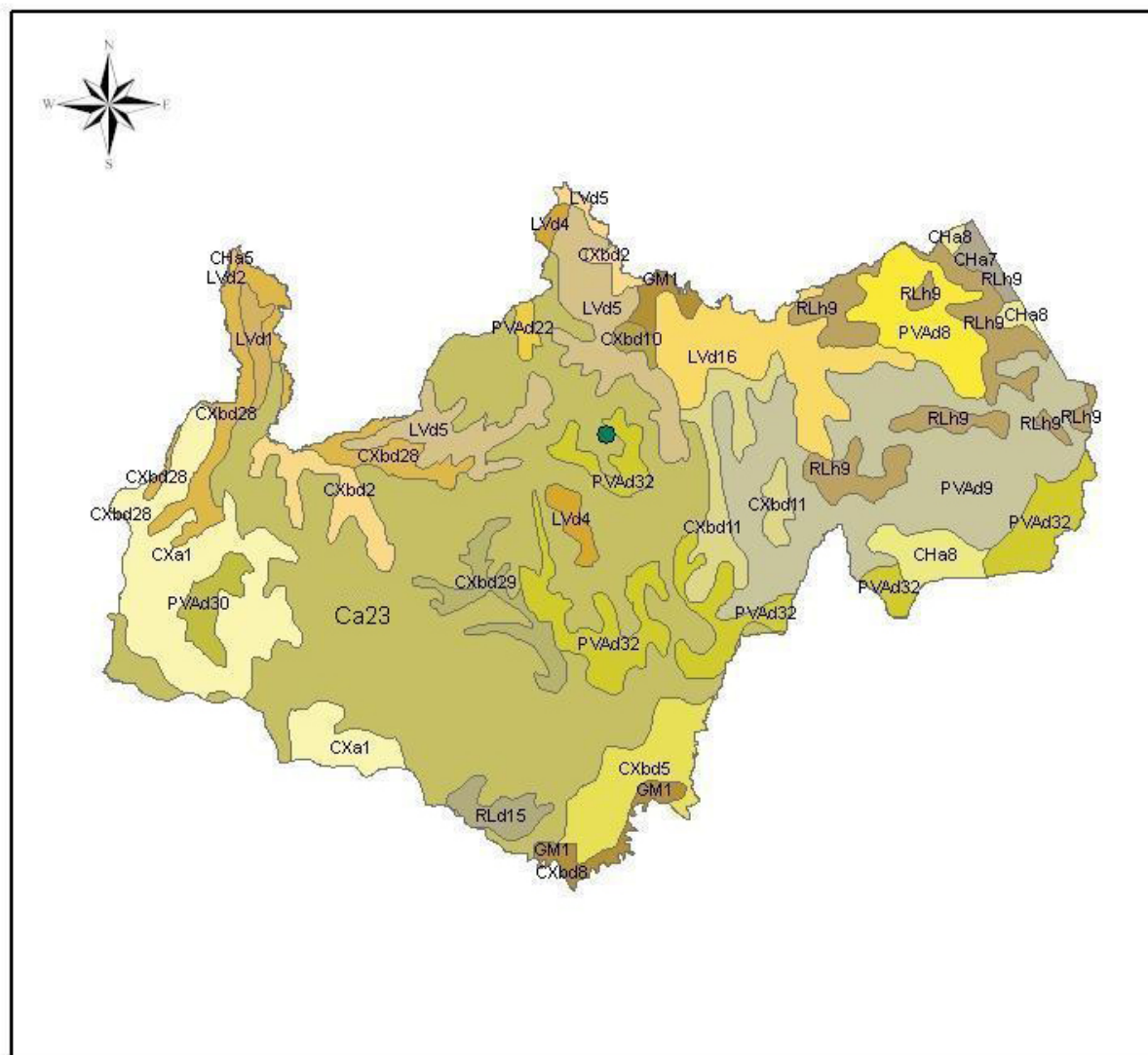
- Localização do Ponto de Coleta
- Unidade de Solo Estudado  
Latossolo Vermelho Escuro Álico - LEa8

### Localização



## ANEXO 6

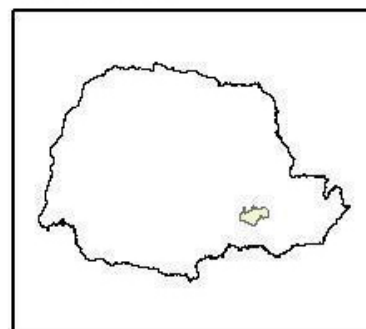
FIGURA 3 - MAPA DE SOLO DE PALMEIRA COM DESTAQUE DO PONTO DE AMOSTRAGEM



## LEGENDA

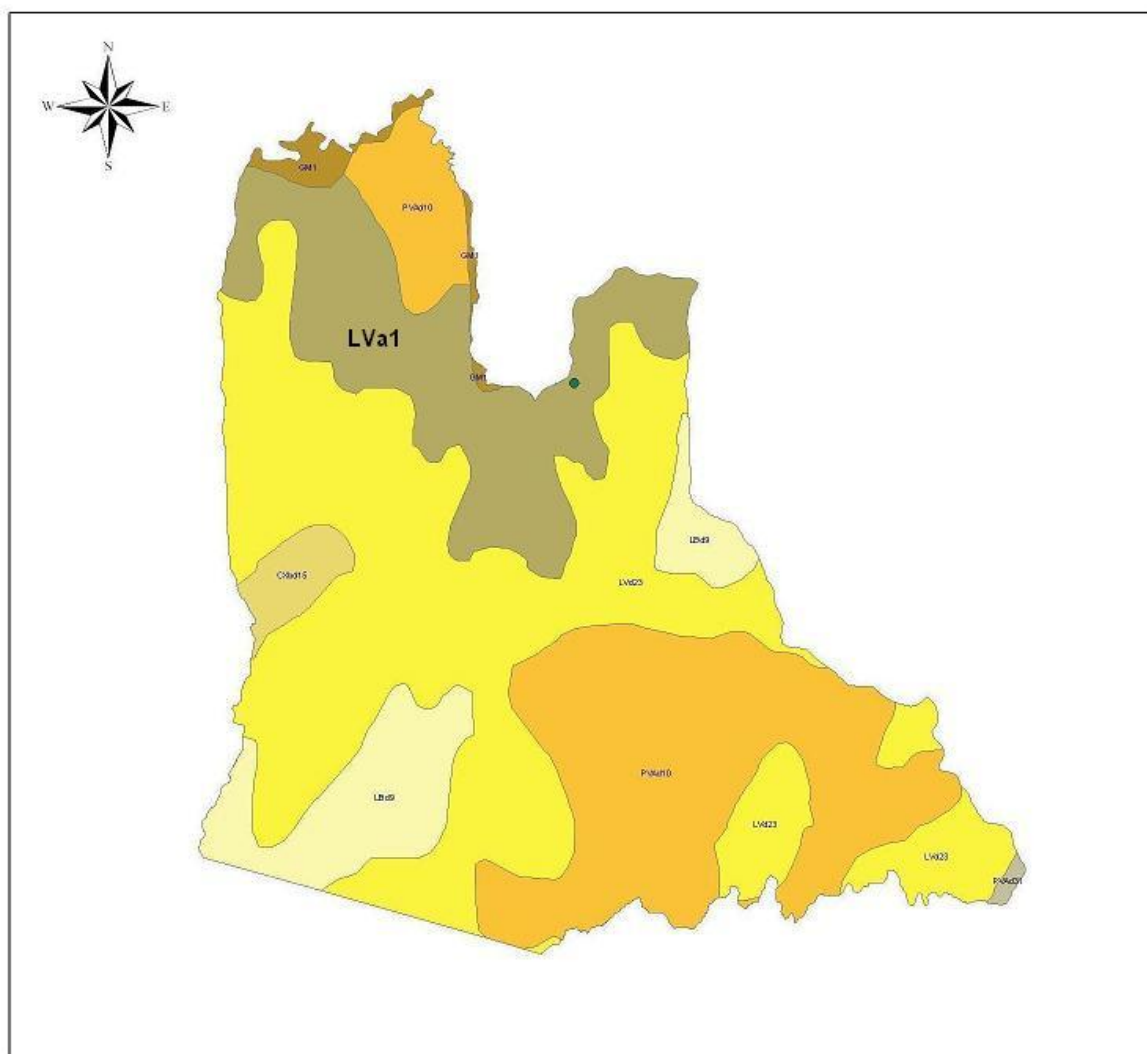
- Localização do Ponto de Coleta
- Unidade de Solo Estudado  
Cambissolo Álico - Ca23

### Localização



## ANEXO 6

FIGURA 4 - MAPA DE SOLO DE CONTENDA COM DESTAQUE DO PONTO DE AMOSTRAGEM



### LEGENDA

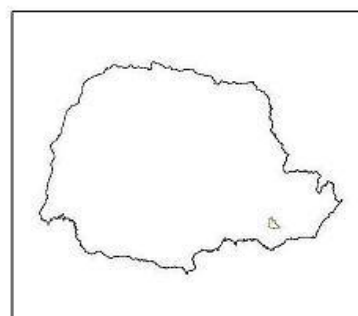


Localização do Ponto de Coleta



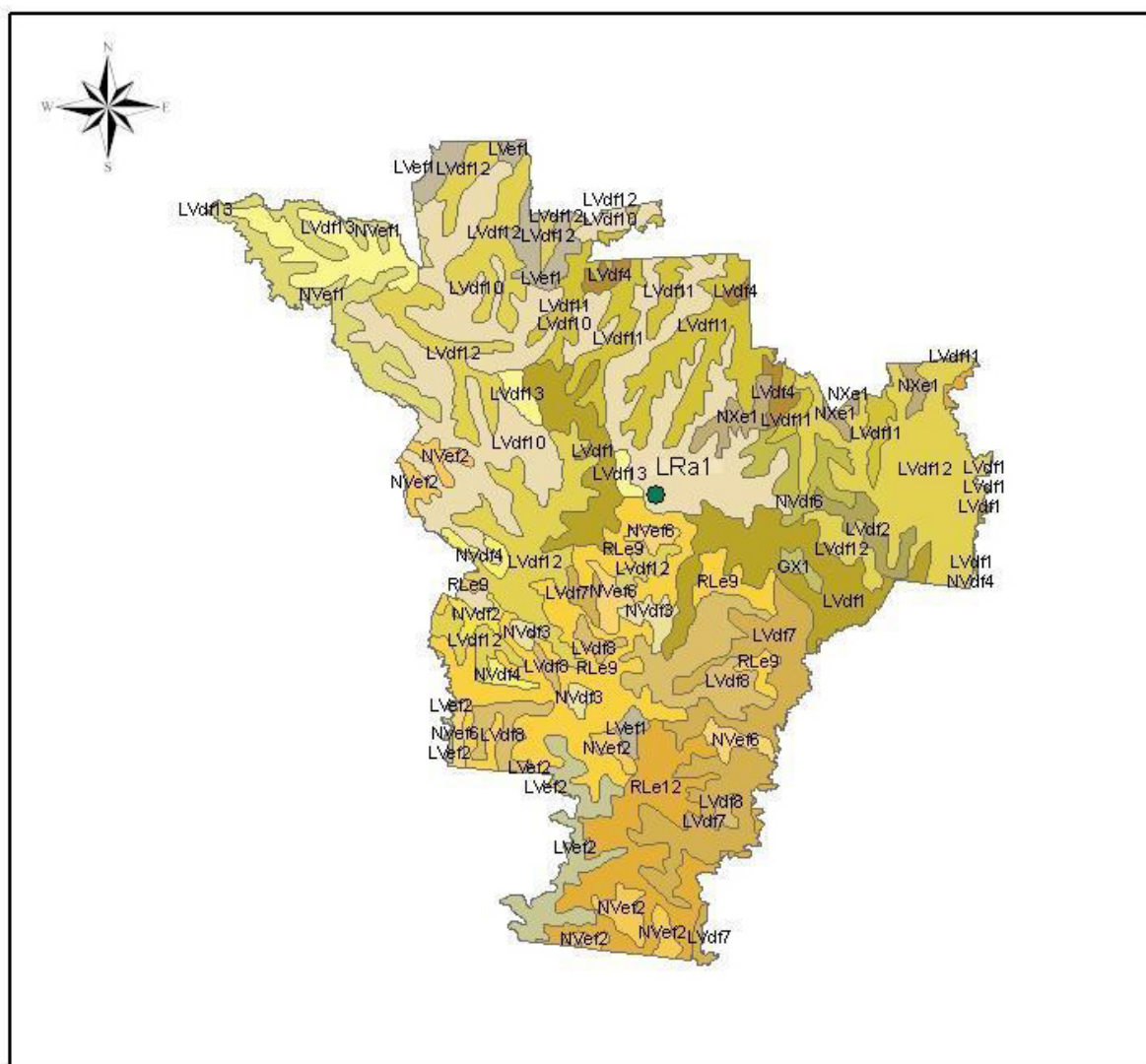
Unidade de Solo Estudado  
Latossolo Vermelho Amarelo - LVa1

### Localização



## ANEXO 6

FIGURA 5 - MAPA DE SOLO DE CASCAVEL COM DESTAQUE DO PONTO DE AMOSTRAGEM



### LEGENDA

● Localização do Ponto de Coleta

Unidade de Solo Estudado  
Latossolo Roxo Álico - LRa1

### Localização

